



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY TVAROVANÉ DUTÉ NÁDOBY

THE SUGGESTION OF SHAPED HOLLOW CUP TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL FABÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAELA CÍSAŘOVÁ

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Pavel Fabík

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Návrh technologie výroby tvarované duté nádoby**

v anglickém jazyce:

### **The suggestion of shaped hollow cup technology**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma diplomové práce je zaměřeno na technologii výroby duté tvarované nádoby – těleso houkačky z žárově pozinkovaného ocelového plechu tažením. V práci by měl být navržen postup výroby výtažku včetně návrhu nástroje a lisovacího stroje.

Cíle diplomové práce:

Vypracování literární studie na možné technologie výroby. Zhodnocení současné technologie výroby součástí. Návrh vhodné technologie výroby součástí a zpracování postupu výroby. Součástí práce bude i technicko – ekonomické hodnocení, návrh sestavy nástroje a lisovacího stroje, závěry se zhodnocením navrhované technologie.

Seznam odborné literatury:

FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

TIŠNOVSKÝ, M. a MÁDLE, L. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.

BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9. BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.

DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michaela Císařová

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

FABÍK Pavel: Návrh technologie výroby tvarované duté nádoby

---

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia oboru M2I-P, předkládá návrh technologie výroby duté součásti z plechu DX53D+Z275N+NC s otvory plošným tvářením. Pro výrobní dávku 225 000 ks za rok, je na základě literární studie problematiky výroby této součásti navrhnout nový způsob výroby součásti na postupovém nástroji a ten je porovnán se stávající výrobou na jednoduchých nástrojích. Postupový nástroj má 12 kroků a kombinuje v nich stříhání, tažení a protahování. Nástroj je uchycen v hydraulickém lisu KAISER KSTU2500 s maximální silou 2500 kN. Simulace pro tažení byly provedeny v programu PAM-STAMP 2G 2011.

**Klíčová slova:** stříhání, tažení, postupový nástroj

## **ABSTRACT**

FABÍK Pavel: The suggestion of shaped hollow cup technology

---

The project developed in the master's degree in M2I-P, proposes a technology of hollow metal components DX53D+Z275N+NC with holes sheet metal forming. For batch production 225 000 units per year, on the basis of literary study problems of production of components there is designed a new way of producing components for progressive tools and it is compared with current production of simple tools. A progressive tool has 12 steps and combines them in cutting, drawing and extrusion. The tool is mounted in the hydraulic press KAISER KSTU2500 with a maximum force of 2500 kN. Simulations were performed for the campaign in the PAM-STAMP 2G 2011.

**Key words:** cutting, drawing, progressive tool

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

FABÍK, PAVEL. *Návrh technologie výroby tvarované duté nádoby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michaela Císařová.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 14. 10. 2011

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Michaele Císařové za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

## **OBSAH**

**TITULNÍ LIST**  
**ZADÁNÍ**  
**ABSTRAKT**  
**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**  
**ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**  
**PODĚKOVÁNÍ**  
**OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>2</b>	<b>ZADANÁ SOUČÁST .....</b>	<b>- 11-</b>
<b>2.1</b>	<b>MATERIÁL SOUČÁSTI.....</b>	<b>- 11 -</b>
<b>2.2</b>	<b>POUŽITÍ SOUČÁSTI .....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>3</b>	<b>LITERÁRNÍ STUDIE K PROBLAMEMATICE VÝROBY DÍLCE .....</b>	<b>- 13 -</b>
<b>3.1</b>	<b>PROBLEMATIKA STRÍHÁNÍ .....</b>	<b>- 14 -</b>
3.1.1	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ STRÍHÁNÍ.....	- 14 -
3.1.2	OBECNÁ TEORIE PLOŠNÉHO STRÍHÁNÍ.....	- 15 -
3.1.3	TEORETICKÉ VÝPOČTY STRÍHÁNÍ .....	- 16 -
3.1.4	STRÍŽNÉ NÁSTROJE .....	- 18 -
<b>3.2</b>	<b>PROBLEMATIKA TAŽENÍ .....</b>	<b>- 18 -</b>
3.2.1	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TAŽENÍ.....	- 18 -
3.2.2	OBECNÁ TEORIE TAŽENÍ SOUČÁSTÍ ROTAČNÍCH TVARŮ.....	- 19 -
3.2.3	MAZÁNÍ PŘI TAŽENÍ.....	- 21 -
3.2.4	TEORETICKÉ VÝPOČTY TAŽENÍ .....	- 22 -
3.2.5	NÁSTROJE PRO TAŽENÍ .....	- 25 -
<b>3.3</b>	<b>PROBLEMATIKA PROTÁHOVÁNÍ.....</b>	<b>- 26 -</b>
<b>4</b>	<b>STÁVAJÍCÍ PROCESY VÝROBY SOUČÁSTI .....</b>	<b>- 27 -</b>
<b>4.1</b>	<b>POSTUP VÝROBY .....</b>	<b>- 27 -</b>
<b>5</b>	<b>INOVACE STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY .....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>5.1</b>	<b>VÝBĚR NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI.....</b>	<b>- 30 -</b>

<b>5.2</b>	<b>POSTUPOVÝ NÁSTROJ .....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>5.3</b>	<b>VÝROBA SOUČÁSTI Z PÁSU PLECHU .....</b>	<b>- 30 -</b>
5.3.1	VÝPOČTY A NÁVRHY POTŘEBNÉ PRO TAŽENÍ Z PÁSU .....	- 32 -
5.3.2	VÝPOČTY A NÁVRHY POTŘEBNÉ PRO PROTAHOVÁNÍ .....	- 41 -
5.3.3	VÝPOČTY A NÁVRHY POTŘEBNÉ PRO STRÍHÁNÍ .....	- 42 -
5.3.4	VÝPOČTY A NÁVRHY POTŘEBNÉ PRO VOLBU STROJE .....	- 43 -
<b>5.4</b>	<b>VOLBA STROJE.....</b>	<b>- 44 -</b>
<b>5.5</b>	<b>POPIS PRÁCE S NAVRŽENÝM POSTUPOVÝM NÁSTROJEM.....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>5.6</b>	<b>VOLBA VHODNÝCH SOUČÁSTÍ PRO POSTUPOVÝ NÁSTROJ .....</b>	<b>- 46 -</b>
<b>5.7</b>	<b>MODELACE PRŮBĚHU TAŽENÍ.....</b>	<b>- 50 -</b>
<b>6</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>- 53 -</b>
<b>6.1</b>	<b>TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>- 53 -</b>
<b>6.2</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>- 53 -</b>
6.2.1	OBECNÁ TEORIE EKONOMICKÉHO ZHODNOCENÍ.....	- 53 -
6.2.2	VÝPOČTY NÁKLADŮ .....	- 55 -
6.2.2.1	VÝPOČET PŘÍMÝCH NÁKLADŮ STÁVAJÍCÍ VÝROBY .....	- 55 -
6.2.2.2	VÝPOČET NEPŘÍMÝCH NÁKLADŮ STÁVAJÍCÍ VÝROBY.....	- 57 -
6.2.2.3	VÝPOČET CELKOVÝCH NÁKLADŮ STÁVAJÍCÍ VÝROBY .....	- 57 -
6.2.2.4	VÝPOČET PŘÍMÝCH NÁKLADŮ NOVÉ VÝROBY .....	- 58 -
6.2.2.5	VÝPOČET NEPŘÍMÝCH NÁKLADŮ NOVÉ VÝROBY .....	- 60 -
6.2.2.6	VÝPOČET CELKOVÝCH NÁKLADŮ NOVÉ VÝROBY.....	- 60 -
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>- 62 -</b>

**SEZNAM LITERATURY**

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

**SEZNAM PŘÍLOH**

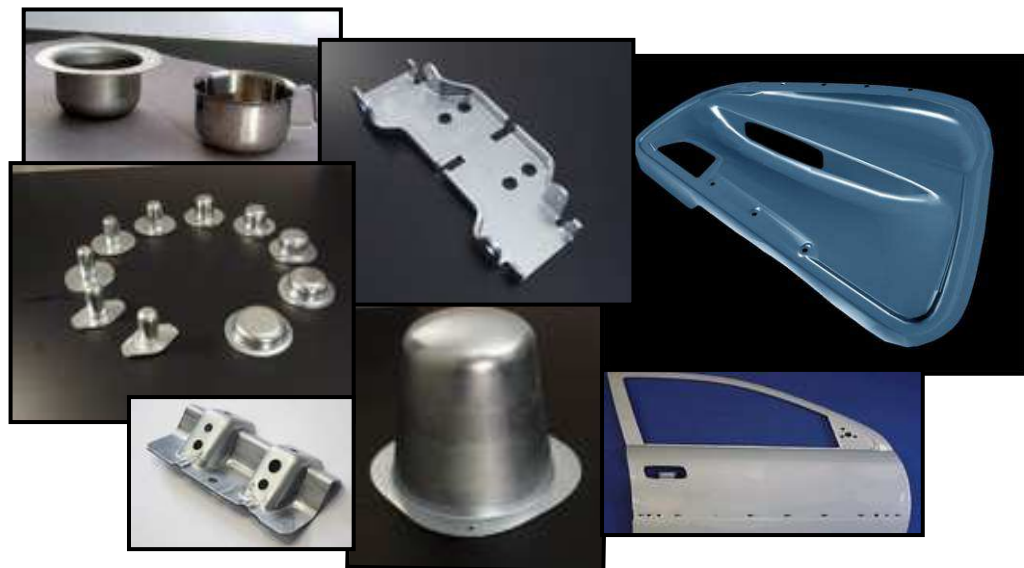
# 1 ÚVOD

Pro splnění úkolů strojírenské výroby je nezbytné volit vhodné a ekonomické způsoby výroby. Požadavky na rychlost a kvalitu výrobního a inovačního procesu neustále rostou. Z tohoto důvodu se tato závěrečná práce zaměřuje především na technologie vhodné pro velkosériovou výrobu, u které je úspora zdrojů, vysoká kvalita a maximální produktivita velmi důležitá. V práci se pojednává o stávající výrobě součásti tažené z plechu s prostříhy na několika jednoduchých lisovacích nástrojích, a volbě nové vhodnější technologie pro výrobu. Účelem je zvýšení efektivity, rychlosti a ekonomičnosti výroby.

Tažení je jedna z nejdůležitějších moderních lisovacích operací. Výroba součástí tažením je vysoce produktivní a ekonomicky výhodná, zvláště v případech automatizování procesu výroby. Ten umožní snížení práce člověka zvýšením produktivity a úspory. Tažení se uplatňuje při výrobě různých součástí, jako například leteckých a automobilových součástek, ale také u lékařských nástrojů a běžného domácího kuchyňského vybavení.

Náklady na pořízení lisovacího nástroje jsou velmi vysoké. Při velkém množství výrobků se však investice do těchto nástrojů vyplatí a to jak z ekonomického tak technologického hlediska. Vše ovšem záleží na správné konstrukci nástroje, který při dodržení určitých pravidel dokáže vyrábět součásti s vysokou přesností a produktivitou.

Tato práce je rozdělena do několika částí. V první části je uveden popis, tvar, účel a použití zvolené součásti v praxi. V druhé části je uvedena potřebná literární studie o technologiích použitých pro výrobu součástí. Ve třetí části je popsána stávající výroba součástí tažením a stříháním. Čtvrtá část je zaměřena na návrh a výběr alternativních metod výroby součástí. Popisuje výhody a nevýhody volby postupového nástroje pro výrobu součástí. Popisuje návrh tohoto nástroje od výpočetní části až po konstrukci nástroje. Pátá část ekonomicky hodnotí a porovnává stávající výrobní technologie a technologie nově navržené.



Obr. 1.1 Součásti vyrobené plošným tvářením <sup>11</sup>

## 2 ZADANÁ SOUČÁST

Součást má název „těleso houkačky“. Jedná se o dutou válcovou součást s pěti otvory. (viz. obr. 2.1). Z nichž dva, které se nacházejí ve střední části, slouží k nasazení svorkovnice a mezi nimi je umístěn malý otvor, kterým se odvětrává vnitřní prostor houkačky. Čtvrtý otvor ve střední části součásti je využit pro umístění seřizovacího šroubu, který je kryt v plastové vložce. Poslední středový otvor s krčkem na vrcholu součásti slouží pro montáž jádra houkačky. (viz. obr. 2.2, obr. 2.3 a výkres 4-DP-FABIK-01).

Součást se vyrábí v množství 225 000 ks · rok<sup>-1</sup>.



Obr. 2.1 Pohled na vnější a vnitřní stranu modelu součásti

### 2.1 MATERIÁL SOUČÁSTI

„Těleso houkačky“ je vyrobeno z materiálu DX53D+Z275+NC, polotovarem je svitek plechu o tloušťce 1,25 x 120 x 120 mm, který je žárově pozinkován pro základní korozní odolnost 240 hodin v solné mlze.

Tab. 2.1 Norma materiálu

EN 10327		
DX53D+Z275N+NC		
D		oceli na plechové výrobky k tváření za studena
X		způsob válcování není předepsán
53		typizace oceli
+Z		žárově pozinkovaná
275		hmotnost povlaku [g · m <sup>-2</sup> ]
N		provedení povlaku
+NC	+N	normalizačně žíhaný nebo normalizačně válcovaný
	+C	zpevněný zpracovaný za studena

Tab. 2.2 Vlastnosti materiálu

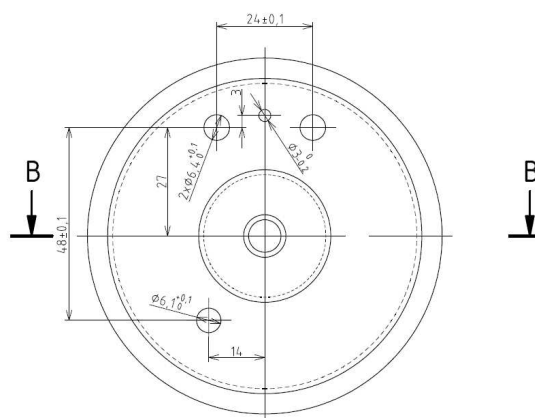
$R_{p0,2} = (140 \div 260) \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$	smluvní mez kluzu
$R_m = (270 \div 380) \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$	pevnost v tahu
$A = 30 \%$	minimální tažnost

## 2.2 POUŽITÍ SOUČÁSTI

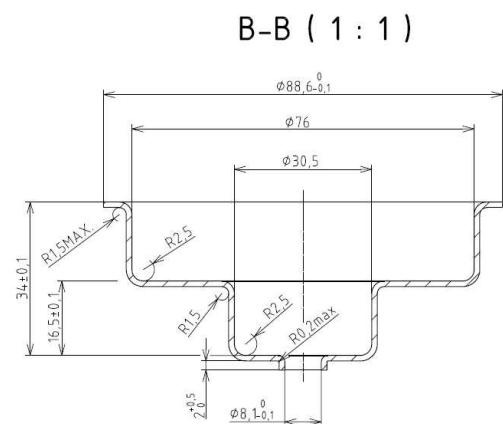
Jak již bylo výše řečeno, výtažek se používá jako těleso houkačky. Příklady součástí ve složeném stavu s ostatními komponentami houkačky jsou zobrazeny na obr. 2.2 a 2.3, ve dvou nejčastěji používaných typech provedení. Tato provedení se liší typem svorkovnic. <sup>8</sup>

Obr. 2.2 Svorkovnice komínek <sup>8</sup>Obr. 2.3 Svorkovnice DIN <sup>8</sup>

Jako celek tvoří tyto součásti elektromagnetickou diskovou houkačku. Ta slouží jako povinné zvukové výstražné zařízení pro osobní, užitková i nákladní motorová vozidla. Používají je světově významné automobilky a podniky jako např. Volvo, Man, VZV Jungheinrich, nebo Škoda Auto. <sup>8</sup>



Obr. 2.4 Rozměry součásti v pohledu



Obr. 2.5 Rozměry součásti v řezu

### 3 LITERÁRNÍ STUDIE K PROBLEMATICE VÝROBY DÍLCE

Jak již je patrné z tvaru dílce „těleso houkačky“ je jasné, že pro jeho výrobu bude využito plošného tváření.

**Plošným tvářením** se vyrábí součástky (výlisky) jak malých tak i velkých rozměrů. Tyto výlisky jsou charakteristické nízkou hmotností a dostatečnou pevností i tuhostí. Tím úspěšně nahrazují jak svařence, tak i odlitky. Při jejich výrobě dochází ke snížení spotřeby materiálu, ale také pracnosti.<sup>13</sup>

Podle jednotlivých lisařských prací je možné procesy plošného tváření dle ČSN 22 6001 rozdělit na:<sup>13</sup>

**stříhání** (prosté stříhání, děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání, vysekávání)

**ohýbání** (prosté ohýbání, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, obrubování, osazování – prosazování, drápkování, zkručování)

**tažení** (prosté tažení, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování)

**tlačení** (tlačení tvaru, rotační obrubování, rotační lemování, rotační rozšiřování, rotační zužování, rotační žlábkování, rotační drápkování, osazování - prosazování, tlačení se ztenčením stěny.

Celkový výrobní postup součásti vyráběné plošným tvářením obsahuje přípravné a dokončovací operace. Obecný výrobní postup součásti lisované z plechu, zahrnuje následující technologické operace:<sup>13</sup>

- dělení výchozího plechu,
- úpravy přístřihů (odstranění otřepů, vlnitosti u plechu rovnáním apod.),
- nanášení maziva (mechanicky nebo automaticky),
- tváření (např. tažení apod.),
- mytí a úpravy po tváření (mytí, odstranění přídavků, klempířské úpravy, atd.),
- dokončovací operace (orýsování, děrování otvorů, povrchová ochrana, atd.).

Výlisky mohou být buďto finálním výrobkem, nebo mohou být využity v dalším výrobním procesu (svařování, pájení, atd.).<sup>13</sup>

### 3.1 PROBLEMATIKA STŘÍHÁNÍ

#### 3.1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ STŘÍHÁNÍ

**Stříhání** se dělí na stříhání plošné (stříhání plechů) a objemové (stříhání profilů). Při výrobě součásti se bude používat pouze stříhání plošné.<sup>7</sup>

**Stříhání plošné** je dělení plošného útvaru (plechu) podle uzavřeného a neuzavřeného obrysu břitu při konstantní stříhané tloušťce. Existuje 9 základních operací plošného stříhání. Pro výrobu součásti je potřeba pouze 3 typů uvedených tab. 3.1.<sup>7</sup>

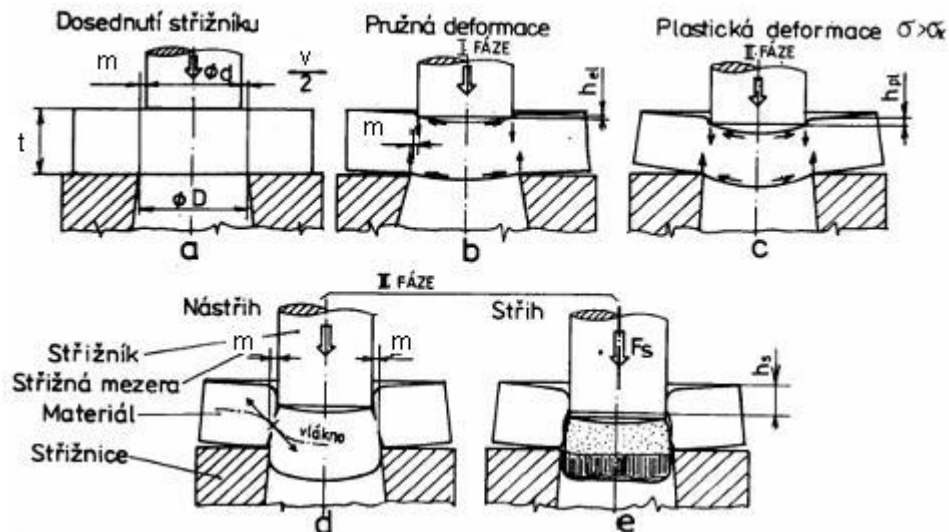
Tab. 3.1 Základní práce a operace plošného stříhání<sup>7</sup>

Operace	Schéma	Definice
1. Děrování		<p>Tvorba otvorů různých tvarů. Vystřižená část tvoří odpad.</p>
2. Vystřihování		<p>Zhotovení výstřižku oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřižená část je výrobkem.</p>
3. Nastřihování		<p>Částečné dělení materiálu tak, že není úplně oddělen.</p>

### 3.1.2 OBECNÁ TEORIE PLOŠNÉHO STŘÍHÁNÍ

**Stříhání** je základní operací dělení materiálu, která je u kovů zakončena porušením (lomem) v ohnisku deformace. K oddělování materiálu dochází pohybem dvou protilehlých břitů nože (u stříhadla střížníku a střížnice).<sup>6</sup>

**Průběh stříhání** je nejlépe vidět na obr. 3.1 kde jsou jednotlivé fáze znázorněny na geometrickém modelu prostřihování (děrování).<sup>5</sup>



Obr. 3.1 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí<sup>5</sup>

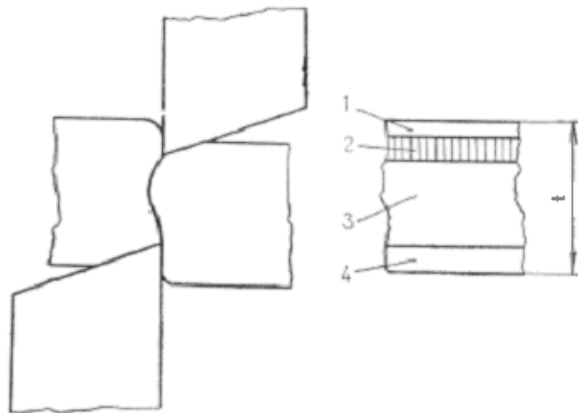
Proces stříhání má 3 základní fáze:

- I. Fáze Dochází k elastickému vnikání střížníku do povrchu stříhaného materiálu.<sup>6</sup>  
 $h_{el}$  - hloubka vniku střížníku do materiálu je  $(5 \div 8)\%$  jeho tloušťky  $t$  (obr. 3.1b)<sup>5</sup>
- II. Fáze Napětí ve směru vnikání je větší než mez kluzu => trvalé plastické přetvoření<sup>6</sup>  
 $h_{pl}$  - hloubka plastického vniknutí do materiálu je  $(10 \div 25)\%$  tloušťky  $t$  (obr. 3.1c)<sup>5</sup>
- III. Fáze Dosáhne se meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$ . Vznikne *nástřih* (obr. 3.1d) tzn. tvoření trhlin, které je podporováno napětím ve směru vláken. Trhliny se rychle šíří až dojde k oddělení výstřižku tzv. *střih* (obr. 3.1e).  
 $h_s$  - hloubka vniku střížných hran do stříhaného materiálu.<sup>6</sup>

**Kvalita střížné plochy** závisí zejména na těchto faktorech:<sup>7</sup>

- mechanických vlastnostech stříhaného materiálu (se stoupající tvrdostí se zhoršuje jakost střížné plochy)
- velikosti střížné vůle
- správné konstrukci
- na stavu stříhadla (opotřebení)
- rychlosti stříhání

Střížná plocha je tvořena obecně čtyřmi plochami (obr. 3.2). Protože část 3. tvoří největší část (80% střížné plochy), je pro posouzení střížné plochy charakteristická.<sup>7</sup>



Obr. 3.2 Kvalita střížné plochy<sup>7</sup>

Část 1: (6%  $t$ )  
Zaoblení vstupní  
hrany plechu.  
Část 2: (10%  $t$ )  
Zatlačení nože do  
vzniku trhlin.  
Část 3: (80%  $t$ )  
Vlastní střížná  
plocha.  
Část 4: (4%  $t$ )  
Zatlačení  
spodního nože.

Při dobrých podmínkách lze dosáhnout jakosti povrchu:<sup>7</sup>

- při vystřihování  $R_a = 6,3$  až  $3,2$
- při děrování  $R_a = 6,3$  až  $2,5$

### 3.1.3 TEORETICKÉ VÝPOČTY STŘÍHÁNÍ

**Střížná síla** určuje, jakou silou musí lis působit na střížný nástroj, aby se prostříhl plech a kvalita stříhu byla co největší.

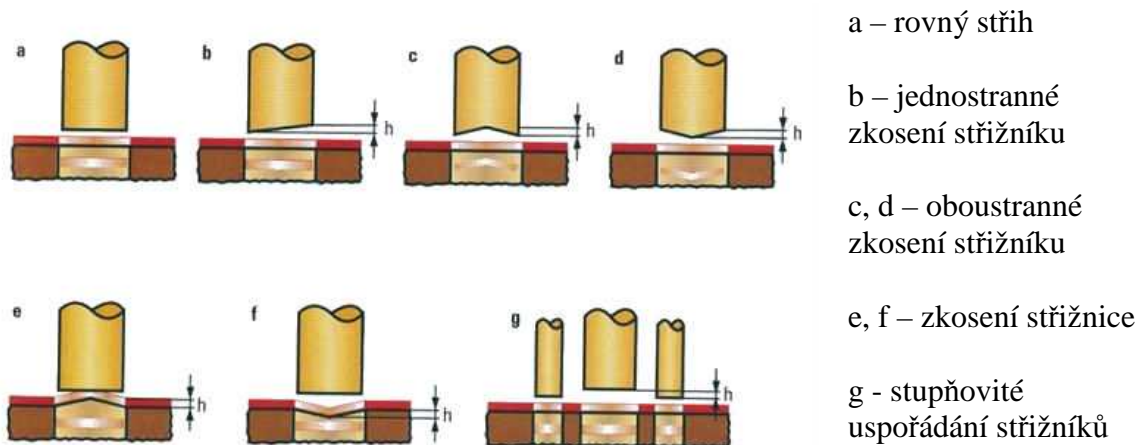
Pokud vyjde střížná síla příliš velká, dá se snížit např. změnou geometrie čela střížníku (obr. 3.3 b, c, d, změnou střížnice (zkosení) – 3.3 e, nebo odstupňováním střížníku. (obr. 3.3 f).<sup>7</sup>

**Střížná síla**  $F_s$ <sup>13</sup>

$$F_s = L \cdot t \cdot \tau_{ps} \cdot n_o = L \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o \quad [\text{N}] \quad (3.1)$$

kde

$L$ [mm]	stříhaný obvod
$t$ [mm]	tloušťka plechu
$\tau_{ps} = 0,8 \cdot R_m$ [MPa]	střížný odpor materiálu
$R_m$ [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ]	pevnost v tahu
$n_o = 1,1 \div 1,3$ [-]	opravný součinitel na opotřebení nástroje

Obr. 3.3 Snižování střížné síly úpravou střížníků<sup>10</sup>**Střížná práce  $A_s$** <sup>7</sup>

$$A_s = \frac{X \cdot F_s}{1000} \quad [\text{J}] \quad (3.2)$$

kde

X [-] součinitel určený z pevnosti materiálu

**Střížná vůle  $v$** <sup>13</sup>

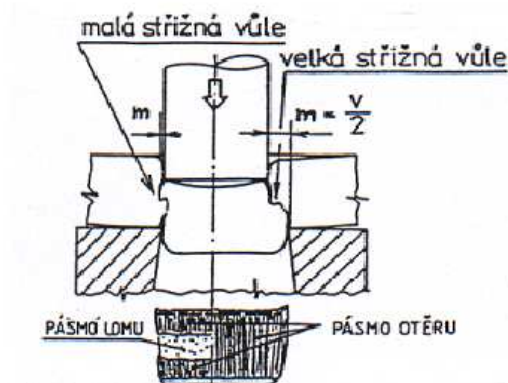
Při jejím určení se přihlíží na tloušťku materiálu a k pevnosti ve stříhu.

Střížná vůle má velký vliv na kvalitu střížné plochy, je dána vztahem:

$$v = 2 \cdot c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 2 \cdot c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot R_m} \quad [\text{mm}] \quad (3.3)$$

kde

c = 0,005÷0,035 [-] koeficient závislý na stupni stříhu

Obr. 3.4 Velikost střížné vůle<sup>7</sup>

**Vniknutí střížné hrany**  $h_s$  <sup>7</sup> (obr. 3.1)

$$h_s = (1,1 \div 1,2) \cdot (h_{pl} + h_{el}) \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

kde

$h_{pl}$  [mm]

hloubka vniku střížníku do materiálu

$h_{el}$  [mm]

hloubka plastického vniknutí do materiálu

Jinak jej lze také orientačně stanovit dle vlastností materiálu. <sup>13</sup>

- tvrdý a křehký materiál  $h_s = 10\%t$
- měkký a houževnatý materiál  $h_s = 60\%t$

### 3.1.4 STŘIŽNÉ NÁSTROJE

Stříhadla je možno rozdělit podle počtu operací na jednoduché, postupové, sloučené, sdružené, sdružené postupové. Podle základní práce na stříhací, ohýbací, tahací, atd. a podle počtu výrobků na jednonásobné a vícenásobné. <sup>9</sup>

**Jednoduchá**, v nichž se provádí jedna operace na jednom výstřížku na jeden zdvih. <sup>9</sup>

**Vícenásobná**, umožňují vyrobít na jeden zdvih větší počet stejných výstřížků. <sup>9</sup>

**Postupová**, umožňují provedení několika operací na více zdvihů, mezi nimiž se výlisek podává na další pracovní místa nástroje. Z poslední operace vychází na každý zdvih hotový výrobek. <sup>9</sup>

**Sloučená**, u nichž se na jeden krok provede několik operací (stříhání a děrování). <sup>10</sup>

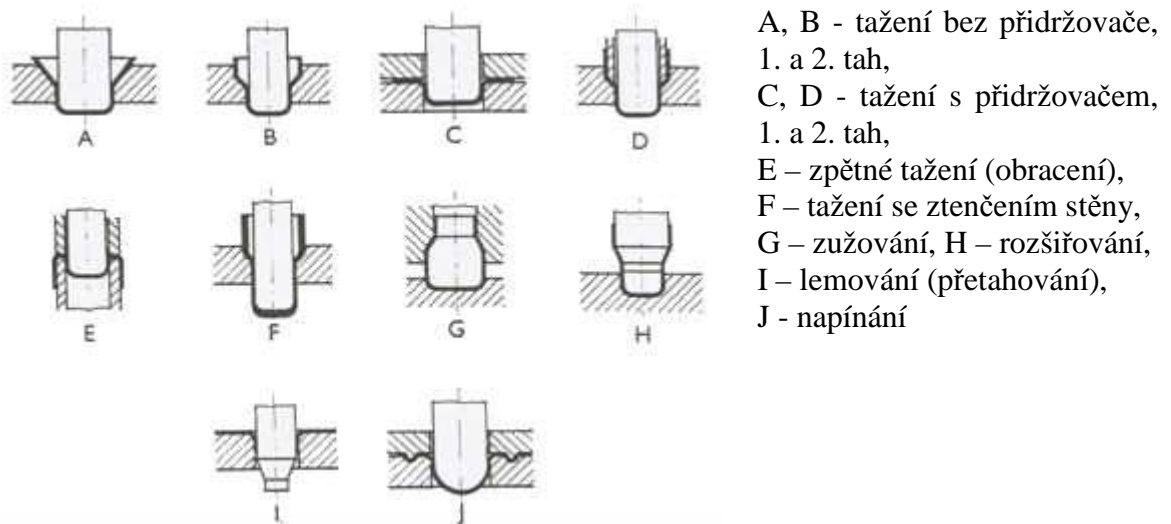
**Sdružená**, u nichž probíhá několik pracovních úkonů na jeden krok (stříhání, tažení). <sup>10</sup>

## 3.2 PROBLEMATIKA TAŽENÍ

### 3.2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TAŽENÍ

**Tažením plechů** vzniká prostorový výlisek nerozvinutelného tvaru. Podle tvaru výlisku lze proces tažení dělit na tažení mělké a hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních a nerotačních tvarů a tažení nepravidelných tvarů (tzv. karosářské výlisky). <sup>10</sup>

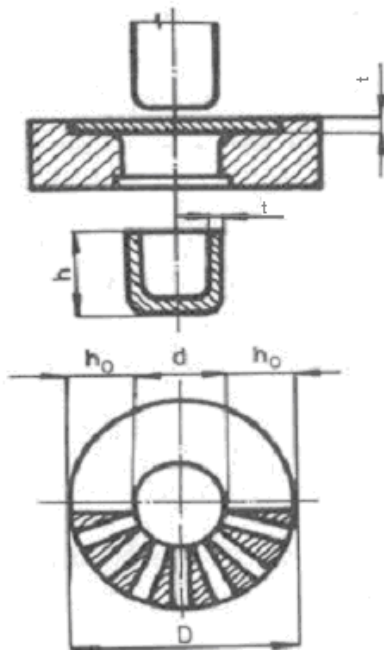
Výchozí polotovary (přístřih plechu), lze zpracovávat následujícími technologiemi: prostým tažením, tažením se ztenčením stěny, zpětným tažením, žlábkováním, rozšiřováním a lemováním, zužováním, přetahováním, protahováním, napínáním a jinými speciálními způsoby (obr. 3.5).

Obr. 3.5 Technologické způsoby tažení<sup>10</sup>

### 3.2.2 OBECNÁ TEORIE TAŽENÍ SOUČÁSTÍ ROTAČNÍCH TVARŮ

**Tažení** je takový technologický způsob tváření, při kterém se v jednom, nebo více tazích vyrobí z plechu (přístříhu) duté těleso. Někdy se tento technologický proces nazývá hluboké tažení.<sup>10</sup>

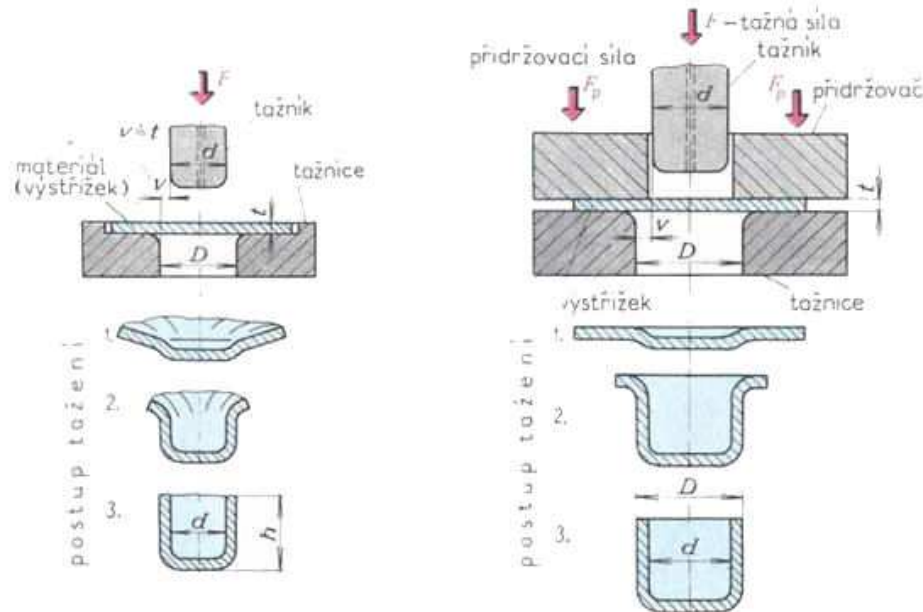
Popis **procesu tažení** jednoduchého válcového výtažku se dnem je uveden na obr. 3.6.

Obr. 3.6 Princip tažení válcového tvaru bez přidržovače<sup>10</sup>

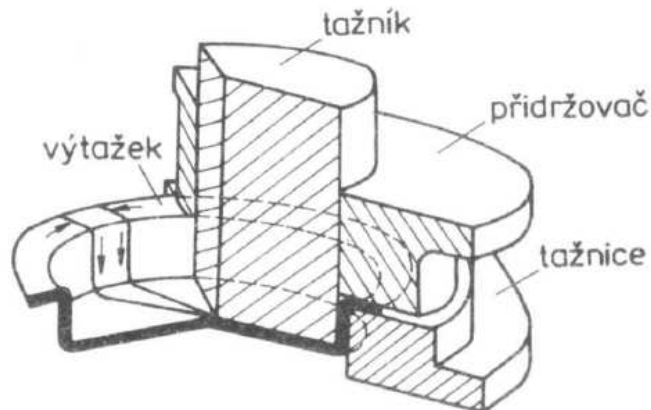
Při zatlačování tažníku do tažnice se plech posunuje přes tažnou hranu, která se z celého nástroje nejrychleji opotřebuje. Síla potřebná k tažení se kontroluje z podmínky pevnosti válcové části nádoby, která se nesmí při tažení přetrhnout. Je nutné uvažovat vliv tření a zpevnění materiálu.<sup>10</sup>

Při tažení se mezikružší přístříhu ( $D - d$ ) změní na válec s průměrem  $d$  a výškou  $h$  z dřívějšího rozměru přístříhu  $D$ . V důsledku platnosti zákona stálosti objemu se objem kovu během procesu nemění, a proto výška  $h$  bude větší, než šířka mezikružší ( $D - d$ ).<sup>10</sup>

Při procesu tažení může dojít k nechtěnému vzniku tzv. vln (obr. 3.7 vlevo). Při tažení se přesouvá značný objem materiálu. Tento materiál je znázorněn na obr. 3.6 v podobě vyšrafovaných plošek. Tento objem materiálu se během tažení vytlačuje, zvětšuje výšku nádoby. Zabránit vzniku vln lze přidržovačem (obr. 3.7 vpravo), ovšem za cenu přechování materiálu v přírubě pod přidržovačem a růstu její tloušťky v přírubě. Proces tažení s přidržovačem je také dobře viditelný na obr. 3.8.<sup>10</sup>



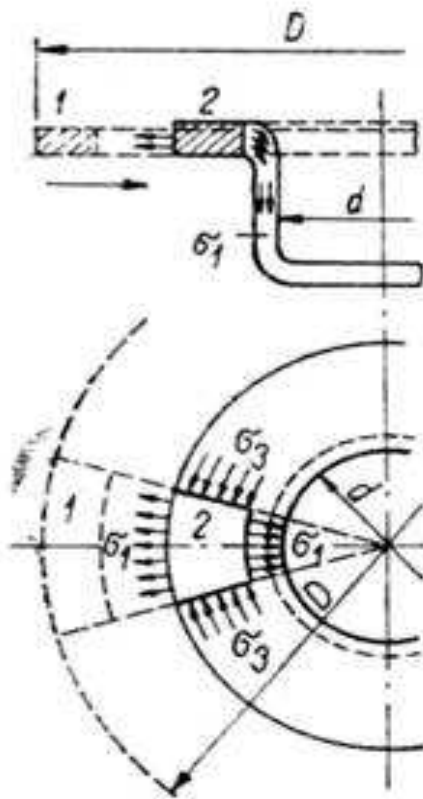
Obr. 3.7 Tvorba vln u tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo)<sup>10</sup>



Obr. 3.8 Řez tažidlem a výtažkem<sup>2</sup>

Tažení rotačně symetrických výtažků patří z hlediska výroby k nejjednoduššímu způsobu tažení plechu. Výpočtové vztahy odvozené pro rotačně symetrické výtažky jsou základem pro výpočty výtažků tvarově složitějšího tvaru.<sup>13</sup>

**Velikost napjatosti a deformace** v různých místech polotovaru a v různých fázích tažení jsou zobrazeny na obr. 3.9.



Obr. 3.9 Schéma napjatosti a deformace při tažení válcového výtažku bez ztenčení stěny<sup>10</sup>

V přírubě polotovaru vzniká vlivem tlaku přidržovače prostorová napjatost a deformace. V ploše příruby vznikají radiální tahová napětí  $\sigma_1$  a tangenciální tlaková napětí  $\sigma_3$  a k nim v kolmém směru osová tlaková napětí  $\sigma_2$ . Při tažení bez přidržovače se mění schéma napjatosti v přírubě z důvodu absence tlakového napětí  $\sigma_2$ .<sup>13</sup>

Na poloměru tažnice vzniká složitá deformace způsobená prostorovým ohybem za současného působení největšího radiálního tahového napětí  $\sigma_1$  a malého tečného tlakového napětí  $\sigma_3$ .<sup>13</sup>

Válcová část výtažku je podrobena jednoosé tahové napjatosti  $\sigma_1$  a rovinné deformaci. Část výtažku, kde přechází válcová část ve dno, je podrobena prostorové nestejnorodé napjatosti, která způsobuje značné prodloužení a ztenčení jeho tloušťky v tomto místě. V důsledku toho je tato oblast výtažku kritickým místem, ve kterém se nejčastěji výtažek poruší.<sup>13</sup>

Ve dně výtažku vzniká během tažení rovinná tahová napjatost a prostorová deformace.<sup>13</sup>

### 3.2.3 MAZÁNÍ PŘI TAŽENÍ

Tažení kovu značně ovlivňuje tření mezi nástrojem a materiálem, protože zde působí vysoké tlaky. Tomu se zabráňuje volbou vhodných maziv, která musí:<sup>2</sup>

- snížit tření natolik, aby se síly při tažení nedostali na hodnoty, při kterých dochází k porušení materiálu
- zabránit zadírání a poškrábání povrchu
- snížit opotřebení tažidel

Nanášené mazivo musí být rovnoměrně nanesené po celé ploše taženého materiálu, a musí vytvořit jemný film.<sup>2</sup>

Při tažení korozivzdorných materiálů je mazání velmi důležité, aby se zabránilo přímému styku taženého kovu s tažnicí a zadírání. Doporučuje se mazivo s vysokou soudržností.<sup>2</sup>

### 3.2.4 TEORETICKÉ VÝPOČTY TAŽENÍ

Pro stanovení **velikosti přístříhu** je třeba vycházet z výkresu výtažku. Při tažení platí zákon zachování objemu. V případě, kde se tloušťka plechu při tažení nemění ( $t = t_0$ ), se zákon zachování objemu mění na zákon zachování ploch, takže plocha přístříhu se rovná ploše povrchu výtažku.  $S_p = S_v$ <sup>2</sup>

**Velikost přístříhu  $D$** <sup>2</sup>

$$S_p = S_v$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \sum S_c}{\pi}} \quad [\text{mm}] \quad (3.5)$$

kde

$D$ [mm]	průměr kruhového přístříhu (rondelu)
$\sum S_c = S_v$	suma všech dílčích ploch na výtažku (plocha výtažku)
$S_p$ [mm <sup>2</sup> ]	plocha přístříhu

**Plochu výtažku  $S_v$** , u tvarově složitějších výtažků lze nejlépe spočítat tak, že se rozdělí součást na několik jednoduchých částí (obr. 3.10) a buď výpočtem, nebo pomocí programu (např. Autodesk Inventor) se určí velikost jednotlivých ploch. Součet těchto ploch se musí rovnat velikosti přístříhu (rov. 3.5).<sup>2</sup>

Po vytažení výtažku vzniknou nerovné okraje vlivem plošné anizotropie, které se z důvodů přesných rozměrů výtažku odstříhují. Proto se musí připočíst přídavek  $p$ , který zahrnuje přídavek na odstřížení a kompenzuje posunutí výtažku ke straně (rov. 3.6).<sup>4</sup>

**Výsledná velikost přístříhu  $D_v$** <sup>4</sup>

$$D_v = D + p \quad [\text{mm}] \quad (3.6)$$

kde

$p$ [mm]	přídavek na odstřížení a posunutí výtažku (příloha č. 1)
----------	--

rotační tvar	plocha
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$ kotouč
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)$ prstavec
	$A = \pi \cdot d \cdot h$ válec
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot \sqrt{d^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot f$ rotační kužel
	$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d + d_1) \sqrt{(d - d_1)^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2} \cdot f \cdot (d + d_1)$ komoňý kužel
	$A = \pi \cdot d^2$ koule
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot d^2$ polokoule
	$A = \pi \cdot d \cdot h = \pi \cdot (r^2 + h^2)$ kulová úsež
	$A = \pi \sqrt{4r^2 h^2 + (r^2 - r_1^2 - h^2)^2} = \pi \cdot d \cdot h$ kulová vrstva
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d \cdot r + 4r^2)$ konkávní prstavec (čtvrtina)
	$A = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d \cdot r - 4r^2)$ konvexní prstavec (čtvrtina)
	$A = \pi \cdot [(d - 2r) \cdot f + 2r \cdot h]$ konkávní prstavec
	$A = \pi \cdot [(d + 2r) \cdot f - 2r \cdot h]$ konvexní prstavec

Výtažek rozdělený na jednotlivé základní prvky

Obr. 3.10 Vzorce pro vypočtení běžných základních ploch<sup>2</sup>

**Součinitel odstupňování tahu**  $m$ <sup>13</sup>

$$m_1 = \frac{d_1}{D_v} \text{ - pro první tah} \quad [-] \quad (3.7)$$

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \text{ - pro další tahy} \quad [-] \quad (3.8)$$

kde

$d_n$  [mm] průměry výtažku v dalších tazích

Součinitel tažení je také možno určit z tabulek (příloha č. 1).<sup>4</sup>

Na volbu součinitele tažení má vliv několik parametrů a to:

- mechanické vlastnosti materiálu (mez pevnosti, mez kluzu, tažnost)
- tloušťka plech
- jakost povrchu plechu
- mazivo

Čím je tloušťka plechu větší a kvalita použitého maziva lepší, tím je možno použít nižších hodnot součinitele tažení. Plech musí mít dostatečnou drsnost, aby na něm dobře ulpělo mazivo.<sup>13</sup>

### Určení počtu tahů $n$ [-]<sup>13</sup>

Při výrobě tažením je snaha vyrobit výtazek na co možná nejmenší počet tažných operací. Proto je třeba dodržet zásadu, že deformace musí být v každé operaci tak velká, aby se plně využilo mechanických vlastností materiálu. Z přístřihu určitého průměru lze v jedné operaci vyrobit výtazek o určitém minimálním průměru a odpovídající výšce. Pro určení nejmenšího počtu tahů se používají součinitele odstupňování tahu  $m$  (viz výše).<sup>9</sup>

Průměr prvního tahu se značí  $d_1$  druhého  $d_2$  a další  $d_n$ , kde  $n$  značí číslo tahu. Jakmile se dostaneme na požadovaný průměr dle vzorce 3.10, zjistíme nejmenší možný počet tahů  $n$  potřebný pro výrobu součásti.<sup>9</sup>

$$d_1 = m_1 \cdot D_v \text{ - pro první tah} \quad [\text{mm}] \quad (3.9)$$

$$d_n = m_n \cdot d_{n-1} \text{ - pro další tahy} \quad [\text{mm}] \quad (3.10)$$

### Tažná síla $F_t$ <sup>13</sup>

Praktické vzorce pro výpočet tažné síly vycházejí z toho, že dovolené napětí je na mezi pevnosti, tj. největší tažná síla musí být o něco menší, než síla potřebná na odtržení bočních stěn výtazku při přechodu do dna. Dle velikosti tažné síly se určuje lis, na kterém bude výtazek tažen.<sup>13</sup>

$$F_t = C \cdot O \cdot t \cdot R_m = C \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (3.11)$$

kde

$C$  [-] součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení  $m$  s přihlédnutím k poměrné tloušťce  $t/D_v$  (viz příloha č.1)

**Celková potřebná síla** se pak vypočte:

$$F_c = F_t + F_p \quad [\text{N}] \quad (3.12)$$

kde

$F_p$  [N] síla přidržovače (viz níže)

### Tlak přidržovače

Bez přidržovače se táhnou jen výtazky z poměrně tlustého materiálu nebo u výtazků s malou výškou a nízké redukci obvykle pod 10%.<sup>2</sup>

Obecně lze doporučit potřebný tlak přidržovače  $p_p$  [MPa] pro:<sup>13</sup>

hlubokotažnou ocel	(2 ÷ 3) MPa
antikorozi ocel	(2 ÷ 5) MPa
mosaz	(1,5 ÷ 2) MPa
hliník	(0,8 ÷ 1,5) MPa

**Síla přidržovače  $F_p$** <sup>2</sup>

U přidržovačů tvaru prstence se dosahuje vyšších redukcí. Síla musí být dostatečně velká, aby zabránila zvlnění okraje.

$$F_p = S_p \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_v^2 - (d_n + 2 \cdot r_p)^2) \cdot p_p \quad [\text{N}] \quad (3.13)$$

kde

$S_p$ [mm <sup>2</sup> ]	styková plocha přidržovače a přístříhu
$p_p$ [MPa]	tlak přidržovače
$r_p$ [mm]	poloměr hrany tažnice

**Poloměr tažníku a tažnice**<sup>2</sup>

Poloměr hran nástroje, zejména tažnice, značně ovlivňuje proces tažení, např. pro 1. či 2. tah je optimální hodnota  $r_p = (6 \div 10)t$ . Vyšší hodnoty vedou ke zvlnění, přidržovač ztrácí funkci. Malé hodnoty  $r_p$  zvyšují tažnou sílu a vzniká nebezpečí utržení dna. Poloměr hrany tažníku  $r_k$  pro 1. operace bývá shodný s  $r_p$ .<sup>13</sup>

Dá se také určit z empirického vzorce, nebo tabulky v příloze č. 1.<sup>2</sup>

$$r_p = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d_k) \cdot t} \quad [\text{mm}] \quad (3.14)$$

kde

$d_k$ [mm]	průměr tažníku
------------	----------------

**Tažná vůle  $z_m$** <sup>13</sup>

Velikost tažné mezery  $z_m$  se volí větší, než je tloušťka plechu, aby se přebytečný materiál mohl při vytahování přemístit a nepěchoval se. Jen při kalibraci je tažná mezera stejná. Pro stanovení velikosti tažné mezery lze použít vztahu:<sup>13</sup>

$$\begin{aligned} z_m &= (1,2 \div 1,3)t \quad [\text{mm}] && \text{pro první tah} \\ z_m &= (1,1 \div 1,2)t \quad [\text{mm}] && \text{pro poslední tah} \end{aligned} \quad (3.15)$$

**3.2.5 NÁSTROJE PRO TAŽENÍ**

Hlavní funkční částí tažných nástrojů jsou tažníky, tažnice a přidržovače. Podle charakteru vykonávané operace lze tažné nástroje rozdělit na tažné nástroje pro první tah a na tažné nástroje pro další tahy. V obou dvou skupinách mohou být tažné nástroje jednoduché, sloučené a speciální. Podle druhu lisu mohou být tažné nástroje určené pro jednočinné lisy, dvojčinné a trojčinné lisy a pro postupové lisy. Podle druhu a typu přidržovače se tažné nástroje dělí na nástroje bez přidržovače a nástroje s přidržovačem, a to pružinovým, pryžovým, pneumatickým či hydraulickým.<sup>10</sup>

### 3.3 PROBLEMATIKA PROTAHOVÁNÍ

Protažením materiálu prostříženým otvorem (obvykle kruhovým) se vytvoří válcová stěna ve dnu nádoby. Kov je zde namáhán pouze tahem. Jako nástroje se používají protahovadla, které jsou podobné tažníkům. Aby se protahování mohlo provést, je třeba vytvořit do materiálu střední otvor  $\varnothing d_{ot}$  (obr. 3.11). Tento průměr musí být takový, aby zůstalo dostatečně kovu pro vytvoření válcové stěny o požadované výšce  $h_{pr}$ .<sup>2</sup>

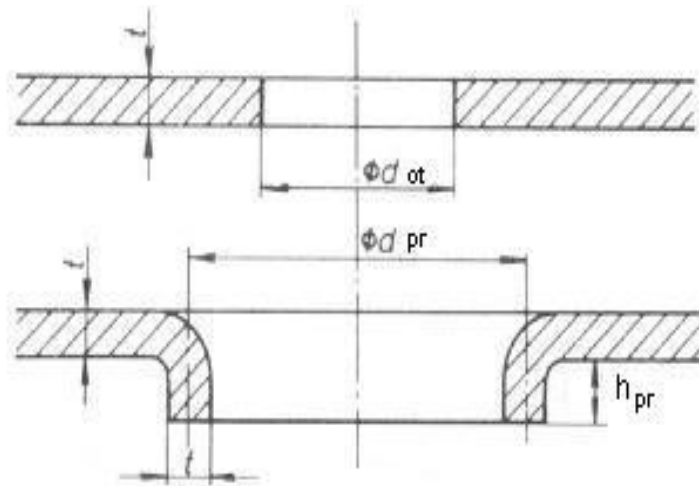
**Velikost otvoru  $d_{ot}$** <sup>2</sup>

$$d_{ot} = \sqrt{d_{pr}^2 - 4 \cdot d_{pr} \cdot h_{pr}} \quad [\text{mm}] \quad (3.16)$$

kde

$d_{pr}$  [mm]      průměr protažení

$h_{pr}$  [mm]      výška protažení



Obr. 3.11 Otvor s protažením<sup>2</sup>

## 4 STÁVAJÍCÍ PROCESY VÝROBY SOUČÁSTI

Součást „těleso houkačky“ se v současné době vyrábí kombinací tažení, stříhání a protahování. Její výroba je velmi náročná a neefektivní. A to hned z několika důvodů. Jedním z nich je čas potřebný pro přípravu celé výroby. Součást se vyrábí na 7 nástrojích, z nichž každý je umístěn na jednom stroji (lisu). Každý nástroj se musí zvlášť upevnit na lis a seřídit, a to je velmi časově náročné. Dalším důvodem pro nízkou efektivnost je potřebný počet pracovníků a to, jak pro obsluhu, tak seřízení strojů a nástrojů. Velmi problematické je skladování velkého počtu nástrojů. Také je potřeba meziskladů v případě sníženého počtu potřebných strojů pro výrobu, do kterých by se nedokončené výrobky umísťovaly.

Stávající výroba také vyžaduje dva typy lisů. Na prvním lisu, kterého je pro výrobu zapotřebí jeden kus (HAULICK ROOS RVD 150 na obr. 4.8), probíhá zautomatizovaná výroba ze svitku. Je zde potřeba jeden pracovník obsluhy. Na druhém typu lisu, kterého je za potřebí pro výrobu šest kusů (LEU 100A na obr. 4.9), probíhají jednotlivé tažné a střížné operace. Potřeba je šest pracovníků obsluhy.

Ekonomickými problémy se více zabývá kapitola 6.2 Ekonomické zhodnocení výroby.

### 4.1 POSTUP VÝROBY

Postup výroby součásti tělesa houkačky je rozdělen dle počtu nástrojů na 7 kroků, z nichž pouze první je zautomatizovaný. Všechny následující se provádí na jednotlivých strojích za pomoci, jak strojní, tak lidské práce na každý kus.



Obr. 4.1 Polotovary po první operaci

#### I. Operace:

Je jako jediná zautomatizovaná.

Zavede se svitek plechu o rozměrech 1,25 x 120 x 120. Přes rovnací válce a podávací zařízení.

Proběhne I. tah většího průměru (spodní části) a vystřihnutí polotovaru z plechu. Propadem spadne do přepravní bedny a ta se přepravuje k dalším operacím.



Obr. 4.2 Polotovary po druhé operaci

#### II. Operace:

Polotovary se ručně založí do nástroje. Proběhne II. tah menšího průměru (horní části). Poté se ručně vloží do přepravní bedny pro přepravu na další operaci.



Obr. 4.3 Polotovár po třetí operaci

**III. Operace:**

Polotovár se ručně založí do nástroje a proběhne III. tah menšího průměru (horní části). Poté se ručně vloží do přepravní bedny pro přepravu na další operaci.



Obr. 4.4 Polotovár po čtvrté operaci

**IV. Operace:**

Polotovár se ručně založí do nástroje a proběhne IV. tah menšího průměru (horní části). Poté se ručně vloží do přepravní bedny pro přepravu na další operaci.



Obr. 4.5 Polotovár po páté operaci

**V. Operace:**

Polotovár se ručně založí do nástroje a proběhne V. tah (kalibrace) obou částí najednou. Poté se ručně vloží do přepravní bedny pro přepravu na další operaci.



Obr. 4.6 Polotovár po šesté operaci

**VI. Operace:**

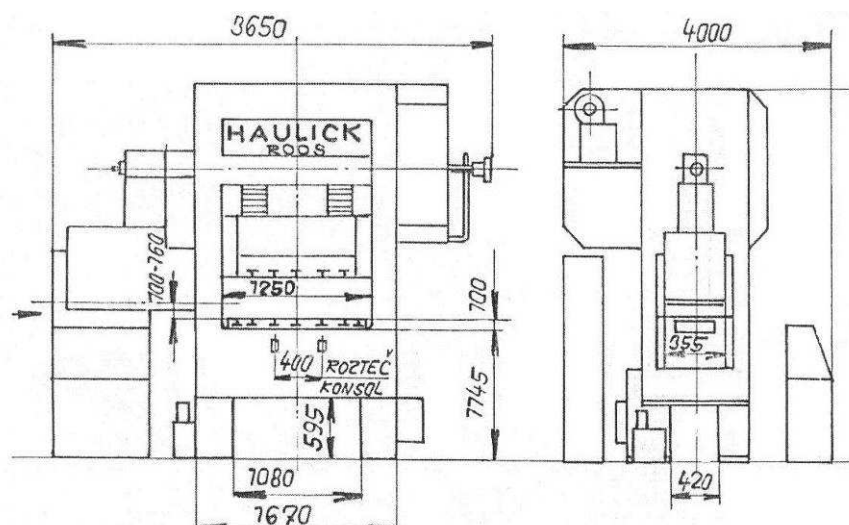
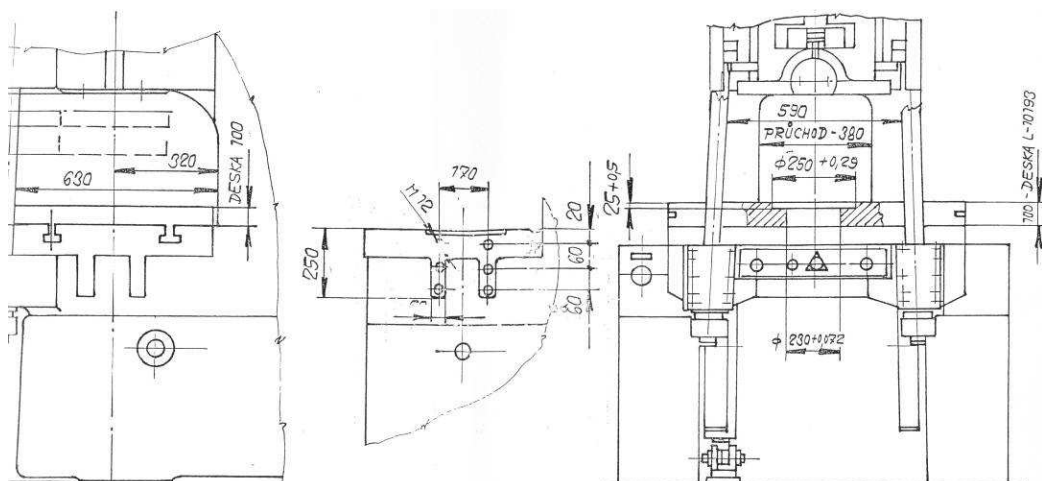
Polotovár se ručně založí do nástroje a proběhne stříh všech 5 děr a stříh okraje součásti. Poté se ručně vloží do přepravní bedny pro přepravu na další operaci.



## VII. Operace:

Polotovar se ručně založí do nástroje a protáhne se díra na vrcholu pro uchycení. Poté se ručně vloží do přepravní bedny.

Obr. 4.7 Polotovar po sedmé operaci

Obr. 4.8 Schéma lisu HAULICK ROOS RVD 150<sup>8</sup>Obr. 4.9 Schéma lisu LEU 100A<sup>8</sup>

## 5 INOVACE STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

### 5.1 VÝBĚR NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

Součást „těleso houkačky“ je možno vyrábět, jak třískovým obráběním, tak tvářením nebo jejich kombinacemi. Jelikož se jedná o dutou součást s tenkou stěnou, obrábění z plného materiálu (např. polotovaru tyče) je vzhledem k velkému množství odpadu materiálu a vynaložených energií velmi nevhodné. Z těchto důvodů možnost výroby pouze obráběním se jeví jako nevhodná metoda výroby součásti. Kombinace tváření a obrábění je další možností výroby součásti, která je již z hlediska odpadu materiálu reálnější. Například polotovar výkovek výtažek nebo odlitek by se v kombinaci s třískovým obráběním (vrtání, soustružení) zdála jako úspornější varianta než samotné obrábění. Kleslo by množství odpadu materiálu, ale zvýšila by se spotřeba času a energie. V tomto případě je také, jak ekonomickým, tak energetickým problémem technologie obrábění, která se dá u takto tenkého materiálu nahradit tvářením (např. vrtání děr stříháním). Jako materiálově nejúspornější a časově nejefektivnější pro novou výrobu tenkostěnné duté součásti s otvory je tedy zvolena výroba součásti tvářením.

Přesněji pro novou výrobu součásti byla jako nejvhodnější způsob zvolena výroba plošným tvářením. Na rozdíl od stávající výroby, která byla popsána v kapitole 4, bude použit postupový nástroj.

### 5.2 POSTUPOVÝ NÁSTROJ

Při tažení takto malých součástí nebývá často lis (i menších rozměrů a sil) dostatečně využit a manipulace s takto drobnými součástmi je velmi náročná. Zatímco u postupových nástrojů, u kterých probíhá při každém pracovním pohybu beranu několik operací zároveň, je stroj lépe využit a manipulace s polotovary odpadá.<sup>2</sup>

Postupová tažidla jsou konstrukčně mnohem složitější, než tažidla určená pro jednu operaci a jsou vhodná pro větší série výtažků. Produktivita těchto nástrojů je vysoká a jinou technologií těžko dosažitelná.<sup>1</sup>

Tažení bude probíhat z pásu plechu za pomoci podávacího, rovnacího a promazávacího zařízení. Současně se budou provádět jednotlivé operace, které po sobě následují v krátkých intervalech a tím se zabrání změnám stárnutí materiálu v důsledku tváření za studena bez mezioperačního žíhání. Postupové tažidla pracují obvykle jako nástroje sdružené. Což znamená, že se v nich nevyskytují jen tažné nástroje, ale také např. střížné, razící a jiné nástroje.<sup>1</sup>

### 5.3 VÝROBA SOUČÁSTI Z PÁSU PLECHU

Tažení z pásu plechu se v lisovací technice rozumí proces, při kterém se z pásu v jednom nebo několika tazích vyrobí duté těleso, které se na závěr z pásu vystřihne.

Tažení z pásu se může rozdělit do čtyř základních skupin:

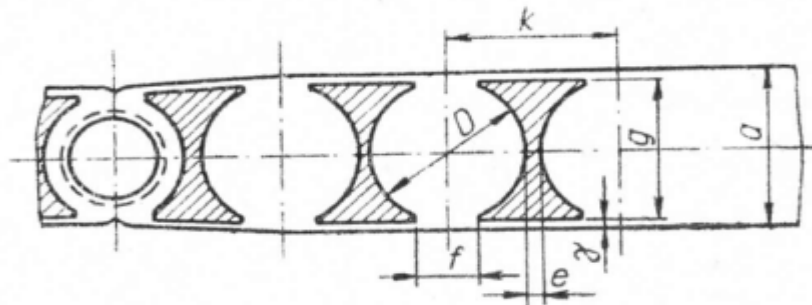
- a) bez nástřihu v jedné řadě se ztenčením stěn výtažku<sup>2</sup>
- b) bez nástřihu, několikařadé se ztenčením stěn výtažku<sup>2</sup>
- c) s natrháváním v pásu, jednořadé i několikařadé s částečným ztenčením stěn výtažku<sup>2</sup>
- d) s nástřihem nebo výstřihem, v jedné nebo i několika řadách, bez ztenčení stěny výtažku<sup>2</sup>

Protože pás plechu má mít s výsledným výrobkem konstantní tloušťku stěny, byla vybrána varianta d). S ohledem na velikost nástroje a již zavedenému pásu plechu bude použito postupové tažidlo jednořadové.

U varianty d) s nástřihem nebo výstřihem, v jedné nebo i několika řadách, bez ztenčení stěny výtažku se nabízí několik možných variant nástřihů i výstřihů.

1) Varianta: (obr. 5.1)

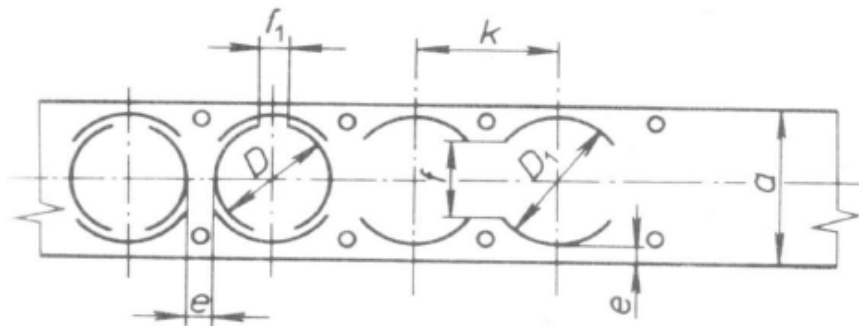
Tato varianta je vhodná pro materiály větších tlouštěk od 0,6 mm. Přístřih se v prvních krocích obstřihuje a zůstává spojený se sítí odpadu dvěma můstky. Ty slouží jen pro přenos přístřihu od jedné operace k druhé. Pás se při tažení značně zužuje, nedochází však ke zkracování pásu ani k ztlnému ztenčení tloušťky stěny výtažku.<sup>2,3</sup>



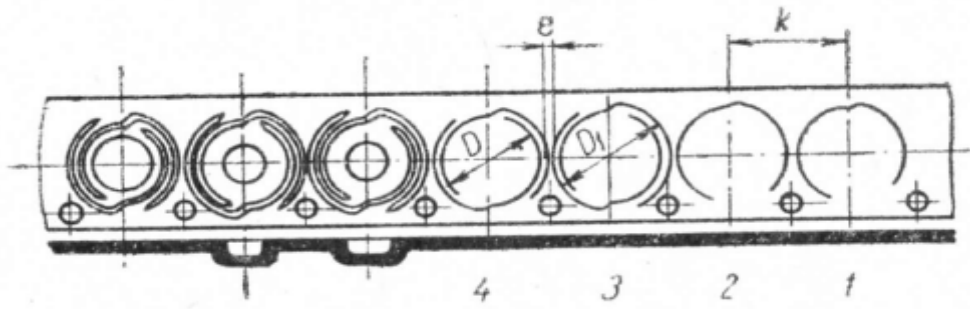
Obr. 5.1 Pás s vystřihem materiálu<sup>2</sup>

2) Varianta: (obr. 5.2 a obr. 5.3)

Tato varianta je vhodná pro materiály spíše menších tlouštěk, ale v literatuře je uveden i pro materiály od 0,6 mm při použití menších redukcí, aby nedošlo k přetržení pásu. U této metody je vytvořen dvojitý nástřih, díky němuž se pás plechu nezkracuje ani nezužuje. V tomto případě se může použít přesnější ustavení pásu díky použití hledáček, pro které se vystřihnou otvory v prvním kroku.<sup>1,2,3</sup>



Obr. 5.2 První typ dvojitého nástřihování<sup>3</sup>

Obr. 5.3 Druhý typ dvojitého nástřihování<sup>1</sup>

Je také možno kombinovat ve zvláštních případech nástřih s vystřížením, a nebo různě upravovat nástřihy i výstřihy.

### 5.3.1 VÝPOČTY A NÁVRHY POTŘEBNÉ PRO TAŽENÍ Z PÁSU

#### 1. Stanovení velikosti přístřihu

Pro výpočet přístřihu (rondelu) je třeba vycházet z výkresu výtažku. Jelikož vyráběná součást „těleso houkačky“ je složitější rotační výtažek, rozhodl jsem se, použít metody určení velikostí přístřihu (rondelu) uvedené v kap. 3.2.4.

**První metoda** vycházející ze zákona zachování ploch. Plochy byly naměřeny programem Autodesk Inventor 2009.

$$1 - S_1 = 510,205 \text{ mm}^2$$

$$2 - S_2 = 560,248 \text{ mm}^2$$

$$3 - S_3 = 1166,316 \text{ mm}^2$$

$$4 - S_4 = 252,342 \text{ mm}^2$$

$$5 - S_5 = 2941,316 \text{ mm}^2$$

$$6 - S_6 = 1402,248 \text{ mm}^2$$

$$7 - S_7 = 3021,034 \text{ mm}^2$$

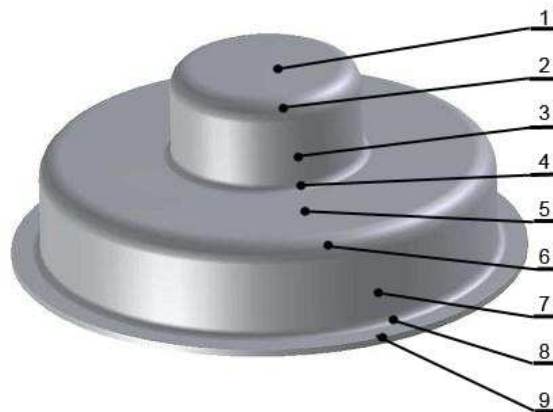
$$8 - S_8 = 589,142 \text{ mm}^2$$

$$9 - S_9 = 948,533 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma - S_c = 11\,391,384 \text{ mm}^2$$

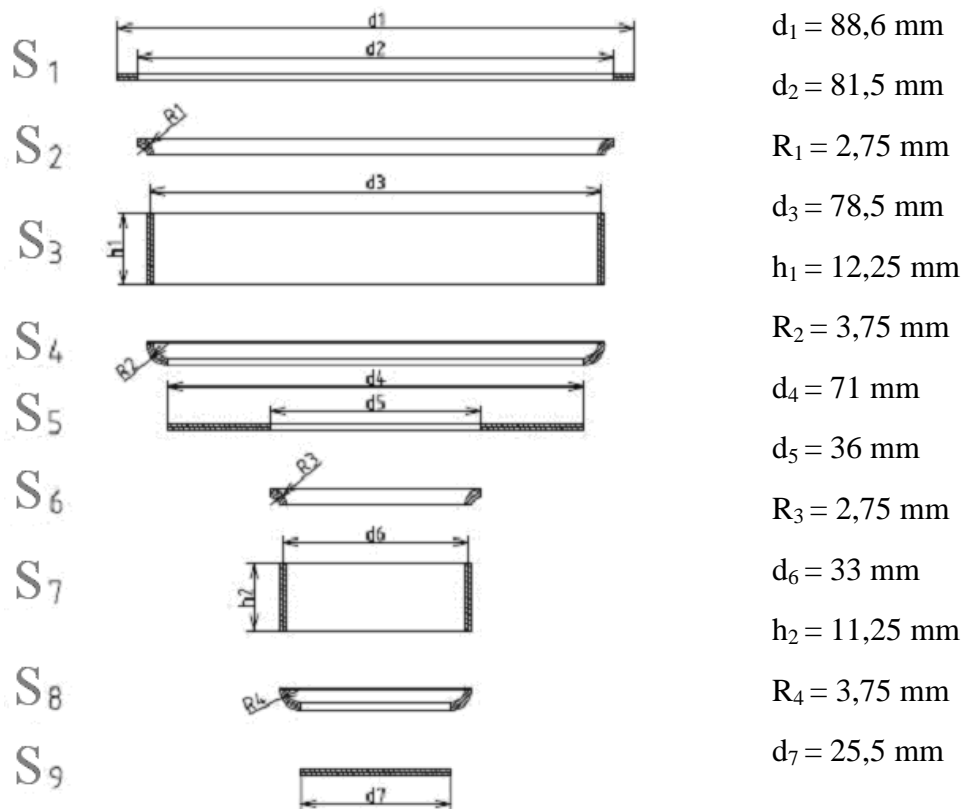
$$\Sigma S_c = S_p$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \Sigma S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11\,391,384}{\pi}} = \underline{\underline{120,4 \text{ mm}}}$$

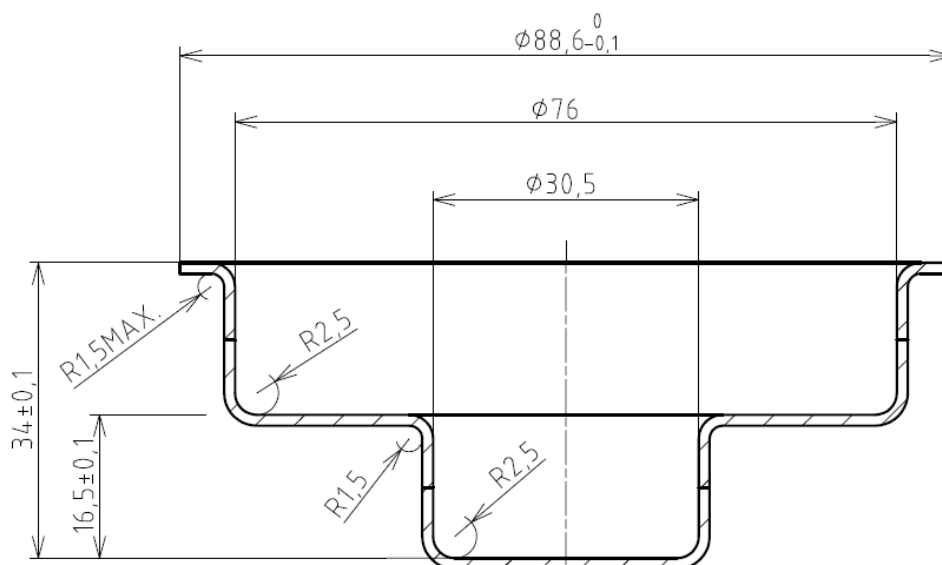


Obr. 5.4 Plochy hotového výtažku

**Druhá metoda** vycházející také ze zákona zachování ploch. Jednotlivé plochy byly vypočteny ze vzorců pro základní prvky.



Obr. 5.5 Výtazek rozdělený na jednotlivé základní prvky



Obr. 5.6 Výtazek

$$S_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (88,6^2 - 81,5^2) = \underline{\underline{948,533mm^2}}$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_2 \cdot R_1 - 4 \cdot R_1^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 81,5 \cdot 2,75 - 4 \cdot 2,75^2) = \underline{\underline{1058,496mm^2}}$$

$$S_3 = \pi \cdot d_3 \cdot h_1 = \pi \cdot 78,5 \cdot 12,25 = \underline{\underline{3021,034mm^2}}$$

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_4 \cdot R_2 + 4 \cdot R_2^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 71 \cdot 3,75 + 4 \cdot 3,75^2) = \underline{\underline{1402,248mm^2}}$$

$$S_5 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_4^2 - d_5^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (71^2 - 36^2) = \underline{\underline{2941,316mm^2}}$$

$$S_6 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_5 \cdot R_3 - 4 \cdot R_3^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 36 \cdot 2,75 - 4 \cdot 2,75^2) = \underline{\underline{441,028mm^2}}$$

$$S_7 = \pi \cdot d_6 \cdot h_2 = \pi \cdot 33 \cdot 11,25 = \underline{\underline{1166,316mm^2}}$$

$$S_8 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_7 \cdot R_4 + 4 \cdot R_4^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 25,5 \cdot 3,75 + 4 \cdot 3,75^2) = \underline{\underline{560,248mm^2}}$$

$$S_9 = \frac{\pi}{4} \cdot d_7^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 25,5^2 = \underline{\underline{510,705mm^2}}$$

$$\Sigma S_C = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9$$

$$\Sigma S_C = 948,533 + 1058,496 + 3021,034 + 1402,248 + 2941,316 + 441,028 + \\ + 1166,316 + 560,248 + 510,705 = \underline{\underline{12049,924mm^2}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \Sigma S_C}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12049,924}{\pi}} = \underline{\underline{123,9mm}}$$

Jako přesnější volím průměr přístříhu (rondelu)  $D = 120,4$  mm spočteného programem Autodesk Inventor 2009.

Pro výslednou velikost přístříhu je třeba přičíst přídavek  $p$  (viz příloha č. 1).

$$D_v = D + p = 120,4 + 3,6 = \underline{\underline{124mm}}$$

Výsledná velikost přístříhu je  $D_v = 124$  mm.

## 2. Určení počtu tažných operací

Pro dosažení větší bezporuchovosti práce se volí u postupových nástrojů větší součinitel tažení  $m$  než u kusového tažení.<sup>2</sup>

Jako první počítáme čtvrtý tah, který je největšího průměru, aby pro něj zůstalo dostatek materiálu z přístříhu (rondelu).

IV. tah (pro spodní část výtažku požadovaný  $\varnothing 76$  mm)

$$d_1 = m_1 \cdot D_v$$

$$d_1 = 0,57 \cdot 124 = \underline{\underline{70,68mm}} \Rightarrow \underline{\underline{d_1 = 76mm}}$$

I. tah (pro horní část výtažku požadovaný  $\varnothing 30,5$  mm)

$$d_2 = m_2 \cdot d_1$$

$$d_2 = 0,57 \cdot 76 = \underline{\underline{43,32\text{mm}}} \Rightarrow \underline{\underline{d_2 = 44\text{mm}}}$$

II. tah (pro horní část výtažku požadovaný  $\varnothing 30,5$  mm)

$$d_3 = m_3 \cdot d_2$$

$$d_3 = 0,82 \cdot 44 = \underline{\underline{36,08\text{mm}}} \Rightarrow \underline{\underline{d_3 = 36,5\text{mm}}}$$

III. tah (pro horní část výtažku požadovaný  $\varnothing 30,5$  mm)

$$d_4 = m_4 \cdot d_3$$

$$d_4 = 0,83 \cdot 36,5 = \underline{\underline{30,295\text{mm}}} \Rightarrow \underline{\underline{d_4 = 30,5\text{mm}}}$$

Pro dosažení průměru 76 mm je třeba jednoho tahu a průměru 30,5 mm dosáhneme třemi tahy. Celkový počet tahů  $n = 4$ .

### 3. Plán tažení

Po výpočtu velikosti přístřihu (rondelu)  $D_v = 124$  mm je jasné, že polotovar, kterým je svitek plechu 1,25 x 120 x 120 mm používaný ve stávající výrobě, není možné použít bez ztenčení stěny výrobku. Proto byl zvolen nový polotovar pro výrobu. Na základě variant nástřihů a výstřihů popsaných a shrnutých v kapitole 5.3, jsem navrhl tři varianty tažných plánů a 2 varianty polotovarů. Ty můžeme vidět ve zkrácené verzi na obr. 5.7, 5.8 a 5.9. Plné délky tažných plánů jsou v příloze č. 2.

#### 1. Varianta:

Tato varianta je tažena ze svitku plechu o rozměrech 1,25 x 135 x 135 mm. Je zde vytvořen prostřih, který je upraven pro použití hledáček. V této variantě dochází ke zmenšení šířky plechu  $a$ , ale délka se nemění. Tím je myšleno to, že velikost kroku  $k$ , se nemění. Místo kroku se zvětšuje šířka prostřihu. (obr. 5.7) Hodnoty  $g$ ,  $a$ ,  $o$ ,  $e$ ,  $k$ , jsou stanoveny dle literatury [2].

#### 1. Krok (předstřih)

Vystřihne se malý segment prostřihu.

#### 2. Krok (předstřih s děrováním)

Vystřihne se zbytek prostřihu plus otvory pro hledáčky.

#### 3. Krok (I. tah)

Proběhne I. tah dolní části výtažku na vnější  $\varnothing 76$  mm.

#### 4. Krok (II. tah)

Proběhne II. tah horní části výtažku na vnitřní  $\varnothing 44$  mm.

#### 5. Krok (III. tah)

Proběhne III. tah horní části výtažku na vnitřní  $\varnothing 36,5$  mm.

#### 6. Krok (IV. tah)

Proběhne IV. tah horní části výtažku na vnitřní  $\varnothing 30,5$  mm.

#### 7. Krok (kalibrace)

Proběhne kalibrace, po které budou všechny rozměry výtažku konečné.

## 8. Krok (děrování)

Proběhne stříh všech 5 děr.

## 9. Krok (protažení)

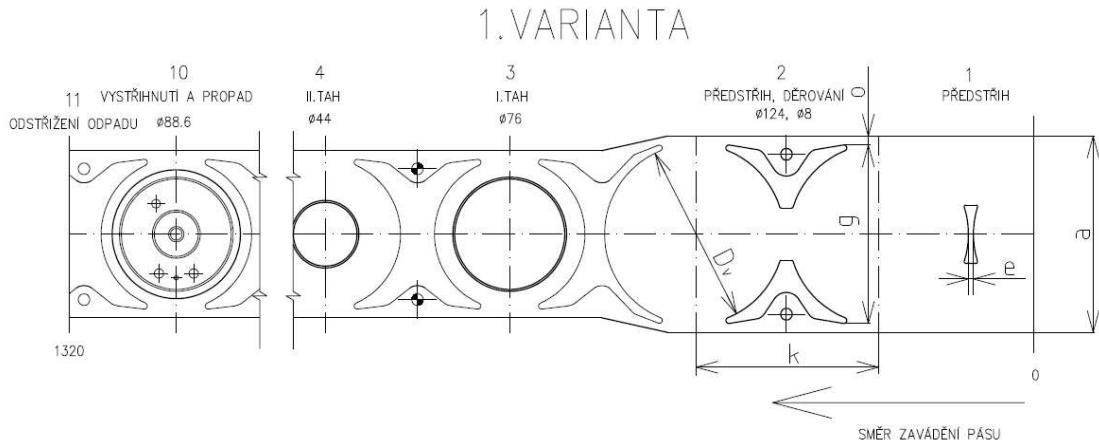
Proběhne protažení díry na vrcholu.

## 10. Krok (výstřih)

Proběhne výstřih celé součásti a její propadnutí do sběrné přepravní bedny.

## 11. Krok (stříh)

Proběhne odstřížení nevyužitého materiálu.



Obr. 5.7 První zkrácená varianta tažného plánu

kde

$$g = 123 \text{ mm}$$

$$a = 135 \text{ mm}$$

$$o = 6 \text{ mm}$$

$$e = 3,4 \text{ mm}$$

$$k = e + D_v = 3,4 + 124 = 127,4 \text{ mm}$$

délka prostříhu

šířka pásu

velikost můstku

šířka prostříhu

velikost kroku

## 2. Varianta:

Tato varianta je tažena ze svitku plechu o rozměrech 1,25 x 140 x 140 mm. V této variantě se nejedná o prostřih, ale o nástřih, který je vytvořen ze čtyř stran. Tím je zabráněno jak zmenšování délky, tak šířky svitku plechu a je zde snadné použití hledáček. Postup je krom prvních tří kroků stejný jako v 1. variantě. (obr. 5.8) Hodnoty  $f_1$ ,  $f$ ,  $D_1$ ,  $e_1$ ,  $k$ , jsou stanoveny dle literatury [2].

## 1. Krok (děrování)

Vystřihnou se otvory pro hledáčky.

## 2. Krok (předstřih)

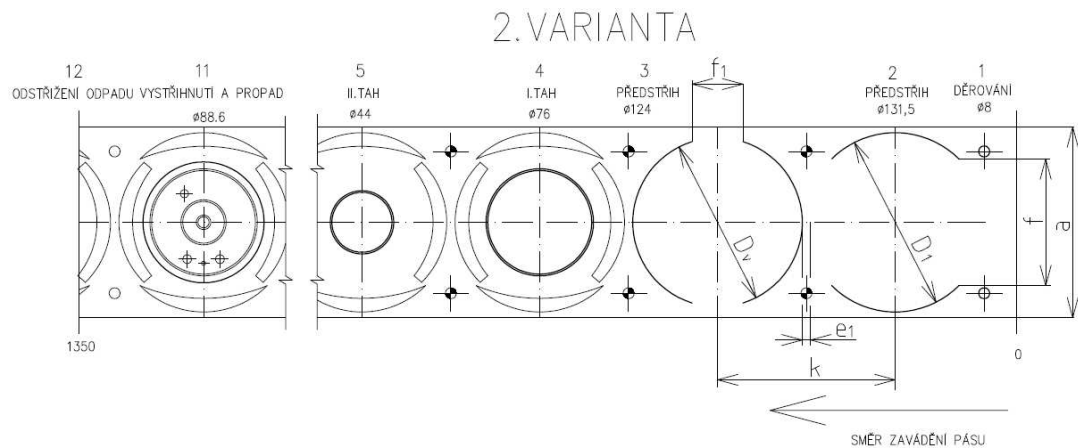
Plech se nastřihne nástřihem o rozměru  $D_1 = 131,5 \text{ mm}$ .

## 3. Krok (předstřih)

Plech se nastřihne nástřihem o rozměru  $D_v = 124 \text{ mm}$ .

## 4. ÷ 12. Krok

Jsou totožné s 3 ÷ 11 první varianty.



Obr. 5.8 Druhá zkrácená varianta tažného plánu

kde

$$f_1 = 0,3 \cdot D_v = 0,3 \cdot 124 = 37,2 \text{ mm}$$

$$f = 0,6 \cdot D_1 = 0,6 \cdot 131,5 = 78,9 \text{ mm}$$

$$D_1 = D_v + 6 \cdot t = 124 + 6 \cdot 1,25 = 131,5 \text{ mm}$$

$$e_1 = 6 \text{ mm}$$

$$k = e_1 + D_v = 6 + 124 = 130 \text{ mm}$$

vzdálenost začátků vnitřních nástřihů

vzdálenost začátků vnějších nástřihů

rozměr vnějšího nástřihu

šířka můstku mezi nástřihy

velikost kroku

### 3. Varianta:

Tato varianta je stejně jako druhá varianta tažena ze svitku plechu o rozměrech 1,25 x 140 x 140 mm. V této variantě se také používá nástřih, který je vytvořen ze čtyř stran pro neztenčování šířky a nezkracování délky svitku plechu. Rozdíl v této variantě oproti první a druhé nastává až od čtvrtého kroku, kde se tentokrát netáhne v prvním tahu dolní část součásti, ale horní a až do 4 tahu kde se táhne dolní díl součásti. (obr. 5.9)

#### 1. Krok (děrování)

Vystřihnou se otvory pro hledáčky.

#### 2. Krok (předstřih)

Plech se nastřihne nástřihem o rozměru  $D_1 = 131,5 \text{ mm}$ .

#### 3. Krok (předstřih)

Plech se nastřihne nástřihem o rozměru  $D_v = 124 \text{ mm}$ .

#### 4. Krok (I. tah)

Proběhne I. tah horní části výtažku na vnitřní  $\text{Ø } 44 \text{ mm}$ .

#### 5. Krok (II. tah)

Proběhne II. tah horní části výtažku na vnitřní  $\text{Ø } 36,5 \text{ mm}$ .

#### 6. Krok (III. tah)

Proběhne III. tah horní části výtažku na vnitřní  $\text{Ø } 30,5 \text{ mm}$ .

#### 7. Krok (IV. tah)

Proběhne IV. tah dolní části výtažku na vnější  $\text{Ø } 76 \text{ mm}$

#### 8. Krok (kalibrace)

Proběhne kalibrace, po které budou všechny rozměry výtažku konečné.

#### 9. Krok (děrování)

Proběhne stříh všech 5 děr.

## 10. Krok (protažení)

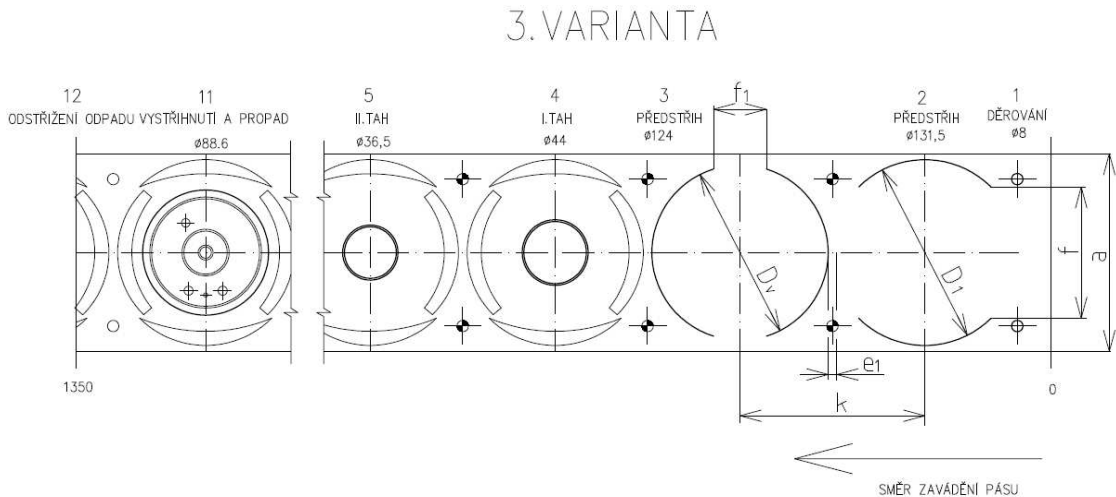
Proběhne protažení díry na vrcholu.

## 11. Krok (výstřih)

Proběhne výstřih celé součásti a její propadnutí do sběrné přepravní bedny.

## 12. Krok (střih)

Proběhne odstřížení nevyužitého materiálu.



Obr. 5.9 Třetí zkrácená varianta tažného plánu

Pro výrobu součásti „těleso houkačky“ ze svitku plechu jsem se rozhodl použít první navrženou variantu tažného plánu. Ta se při konstrukci ukázala jako nevhodná pro výrobu z pásu s přidržením. Docházelo v ní ke vtlačování materiálu do tažnice přidržovačem. Tato volba tedy byla změněna na třetí variantu tažného plánu, u které je sice spotřeba materiálu mírně vyšší, ale pro tažení z pásu je mnohem lépe technologicky řešitelná.

#### 4. Tažné poloměry tažníku $r_k$ a tažnice $r_p$

Volím dle tabulky v příloze č. 1 a upravuji dle modelace průběhu tažení v programu PAM-STAMP 2G 2011.

##### I. tah (pro horní část výtažku Ø 44 mm)

$$r_{pI} = 4 \cdot s = 4 \cdot 1,25 = \underline{\underline{5mm}}$$

$$r_{kI} = 5 \cdot s = 5 \cdot 1,25 = \underline{\underline{6,25mm}}$$

Poloměr tažníku volím na  $r_{kI} = 6$  mm a tažnice  $r_{pI} = 5$  mm

##### II. tah (pro horní část výtažku Ø 36,5 mm)

$$r_{pII} = 0,6 \cdot r_{pI} = 0,6 \cdot 5 = \underline{\underline{3mm}}$$

$$r_{kII} = 0,6 \cdot r_{kI} = 0,6 \cdot 6 = \underline{\underline{3,6mm}}$$

Poloměr tažníku volím  $r_{kII} = 4$  mm a tažnice  $r_{pII} = 3$  mm.

**III. tah** (pro horní část výtažku  $\varnothing 30,5$  mm)

$$r_{pIII} = 0,7 \cdot r_{pII} = 0,7 \cdot 2 = \underline{\underline{1,4mm}}$$

$$r_{kIII} = 0,8 \cdot r_{kII} = 0,8 \cdot 3 = \underline{\underline{2,4mm}}$$

Poloměr tažnice volím  $r_{pIII} = 1,5$  mm a tažníku  $r_{kIII} = 2,5$  mm.

**IV. tah** (pro spodní část výtažku požadovaný  $\varnothing 76$  mm)

$$r_{pIV} = 4 \cdot t = 4 \cdot 1,25 = \underline{\underline{5mm}}$$

$$r_{kIV} = 5 \cdot t = 5 \cdot 1,25 = \underline{\underline{6,25mm}}$$

Poloměr tažnice volím  $r_{pIV} = 1,5$  mm a tažníku  $r_{kIV} = 2,5$  mm.

Při IV. tahu je dosaženo přibližně přesných hodnot výtažku. Následuje kalibrace, kde se dosáhne přesných hodnot.

## 5. Tažné mezery

Tažná mezera je pro:

I. ÷ IV. tah

$$z_m = 1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 1,25 = \underline{\underline{1,5mm}}$$

a pro kalibraci  $z_m = t = 1,25$  mm

## 6. Tažná síla

**I. tah** (pro horní část výtažku  $\varnothing 44$  mm)

$$F_{tI} = C \cdot \pi \cdot d_2 \cdot t \cdot R_m = 1 \cdot \pi \cdot 44 \cdot 1,25 \cdot 300 = \underline{\underline{51836N}} = \underline{\underline{51,8kN}}$$

**II. tah** (pro horní část výtažku  $\varnothing 36,5$  mm)

$$F_{tII} = C \cdot \pi \cdot d_3 \cdot t \cdot R_m = 0,4 \cdot \pi \cdot 36,5 \cdot 1,25 \cdot 300 = \underline{\underline{17200N}} = \underline{\underline{17,2kN}}$$

**III. tah** (pro horní část výtažku  $\varnothing 30,5$  mm)

$$F_{tIII} = C \cdot \pi \cdot d_4 \cdot t \cdot R_m = 0,4 \cdot \pi \cdot 30,5 \cdot 1,25 \cdot 300 = \underline{\underline{14373N}} = \underline{\underline{14,4kN}}$$

**IV. tah** (pro spodní část výtažku požadovaný  $\varnothing 76$  mm)

$$F_{tIV} = C \cdot \pi \cdot d_1 \cdot t \cdot R_m = 0,86 \cdot \pi \cdot 76 \cdot 1,25 \cdot 300 = \underline{\underline{77000N}} = \underline{\underline{77kN}}$$

## V. kalibrace

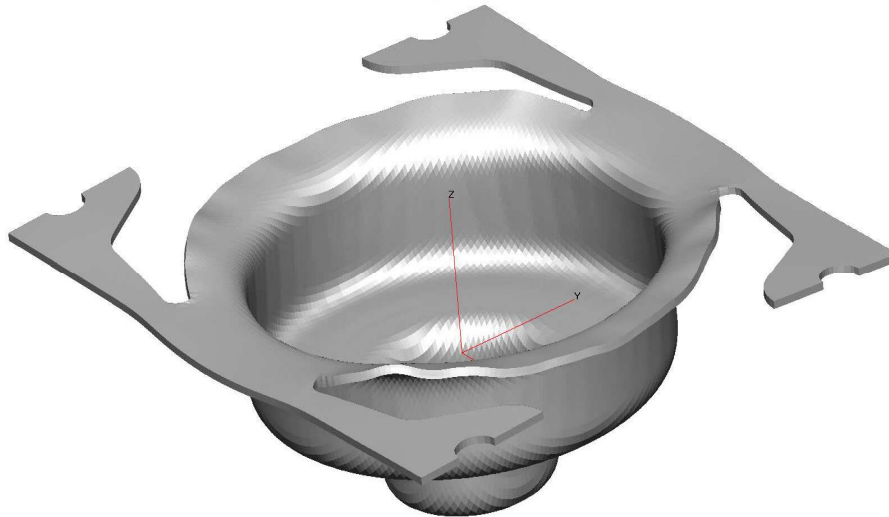
Pro kalibraci volím dle odhadu firmy tažnou sílu  $F_{tV} = 2000N = 2kN$ .

## Celková tažná síla

$$\sum F_t = F_{tI} + F_{tII} + F_{tIII} + F_{tIV} + F_{tV} = 51,8 + 17,2 + 14,4 + 77 + 2 = \underline{\underline{162,4kN}}$$

## 7. Přidržovací síla

Přidržovací síla je vyvolána plynovými pružinami, které ji přenášejí na přidržovač. Výpočty a rozměry ploch jsou odečtené z modelu vytvořeného v programu Autodesk Inventor 2009 popřípadě z programu AutoCad 2011. Vypočtená síla je jen teoretický odhad. Ten je uraven na základě simulace tažení v programu PAM-STAMP 2G 2011. Uvádím jen zvolené tažné síly, u kterých nedocházelo k nechtěným vlivům, jako například zvlnění příruby, nebo natrhávání plechu (viz níže).



Obr. 5.10 Výtažek ze svitku plechu s prostřihy

Na obr. 5.10 je zobrazen výtažek ze svitku plechu i s částí prostřihů 1. varianty tažného plánu po provedení všech čtyř tahů a použití vypočtených sil přidržovače. Tyto síly nebyly pro tažení dostatečné. To mělo za následek, že vznikly vlny na přírubě výtažku.

Příklad výpočtu přidržovací síly je níže u čtvrtého tahu.

Jelikož pro 3. variantu tažného plánu volím přidržovač, který je zároveň vodící deskou a stíračem, volím jen jednu velikost přidržovací síly pro všechny tahy. Tato síla je vyvolána plynovými pružinami rovnoměrně rozmístěnými po ploše přidržovače tak, aby vyvolávala při dosednutí přidržovače přibližně potřebnou přidržovací sílu. Je-li potřeba v nějakém místě zvýšit přidržovací sílu, je možno do tohoto místa přidat plynovou pružinu, nebo změnit rozmístění plynových pružin, případně rozdělit přidržovač na několik menších, různě zatížených. Pro případ potřeby snížení přidržovací síly je možné z pružiny odpustit tlačné médium (dusík).

**I. tah** (pro horní část výtažku  $\varnothing 44$  mm)

Přidržovací sílu pro první tah volím  $F_{pI} = 20\,000\text{N} = 20\text{kN}$ .

**II. tah** (pro horní část výtažku  $\varnothing 36,5$  mm)

Přidržovací sílu pro druhý tah volím  $F_{pII} = 20\,000\text{N} = 20\text{kN}$ .

**III. tah** (pro horní část výtažku  $\varnothing 30,5$  mm)

Přidržovací sílu pro třetí tah volím  $F_{pIII} = 20\,000\text{N} = 20\text{kN}$

**IV. tah** (pro spodní část výtažku požadovaný  $\varnothing 76$  mm)

$$F_{pIV} = S_p \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (108^2 - 89^2) \cdot 2 = \underline{5810N} = \underline{5,8kN}$$

Přidržovací sílu pro čtvrtý tah volím  $F_{pIV} = 20\,000N = 20kN$ .

**V. kalibrace**

Pro kalibraci volím přidržovací sílu  $F_{pV} = 10\,000N = 10\,kN$ .

**Celková přidržovací síla**

Jelikož je přidržovač zároveň stíračem a při funkci nástroje také přetlačuje plynové pružiny zvedacího zařízení a vyhazovačů. Musíme k síle přidržovače připočítat sílu stírací  $F_{ss}$  (viz níže u celkové střížné síly). Také sílu plynových pružin zvedacího zařízení a vyhazovačů  $F_{pružin}$  (viz kapitola 5.5, 5.6, výkres 4-DP-FABIK-00-4).

$$\sum F_p = F_{pI} + F_{pII} + F_{pIII} + F_{pIV} + F_{pV} + F_{ss} + F_{pružin} = 20 + 20 + 20 + 20 + 10 + 32 + 1,5$$

$$\sum F_p = \underline{123,5kN}$$

### 5.3.2 VÝPOČTY A NÁVRHY POTŘEBNÉ PRO PROTAHOVÁNÍ

#### 1. Průměr protahování

$$d_{ot} = \sqrt{d_{pr}^2 - 4 \cdot d_{pr} \cdot h_{pr}} = \sqrt{9,35^2 - 4 \cdot 9,35 \cdot 2} = \underline{3,55mm}$$

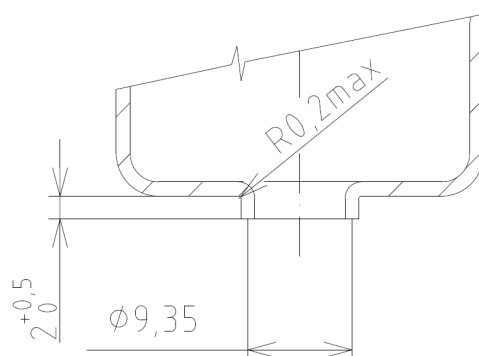
Tímto výpočtem stanovíme jen přibližnou velikost otvoru  $d_{ot}$  (bez zaoblení, obr 5.11). Jelikož se tato součást již vyrábí a protahování díry na vrcholu probíhá v nové i stávající výrobě stejně, bude se počítat s průměrem, který určila firma již na počátku výroby této součásti zkouškami. Volím  $d_{ot} = 4,8$  mm.

#### 2. Protahovací síla

Protahování se dá chápat jako tažení. Pro přibližný výpočet protahovací síly je možno tedy použít vzorec pro tažení.

$$F_{pr} = C \cdot \pi \cdot d_1 \cdot t \cdot R_m = 0,4 \cdot \pi \cdot 9,35 \cdot 1,25 \cdot 300 = \underline{4406N} = \underline{4,4kN}$$

Ve skutečnosti bude ovšem potřebná síla pro protahování ještě o něco menší. Přibližně 60%  $F_{pr}$ .



Obr. 5.11 Protážený otvor

### 5.3.3 VÝPOČTY A NÁVRHY POTŘEBNÉ PRO STRÍHÁNÍ

#### 1. Střížná vůle

$$v = 2 \cdot c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 2 \cdot c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot R_m}$$

$$v = 2 \cdot 0,02 \cdot 1,25 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 300} = \underline{\underline{0,248mm}}$$

#### 2. Střížná síla

**Síla potřebná pro děrování součásti:** (obr. 5.12)

$$F_{s1} = L_{der} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o$$

$$F_{s1} = (2 \cdot \pi \cdot r_1 + 2 \cdot \pi \cdot r_2 + 2 \cdot \pi \cdot r_3 + 2 \cdot \pi \cdot r_4 + 2 \cdot \pi \cdot r_5) \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o$$

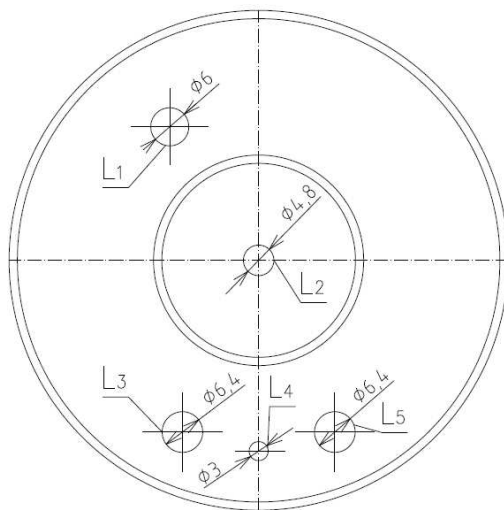
$$F_{s1} = (2 \cdot \pi \cdot 3 + 2 \cdot \pi \cdot 2,4 + 2 \cdot \pi \cdot 3,2 + 2 \cdot \pi \cdot 1,5 + 2 \cdot \pi \cdot 3,2) \cdot 1,25 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 1,2$$

$$F_{s1} = \underline{\underline{30084N}} = \underline{\underline{30,1kN}}$$

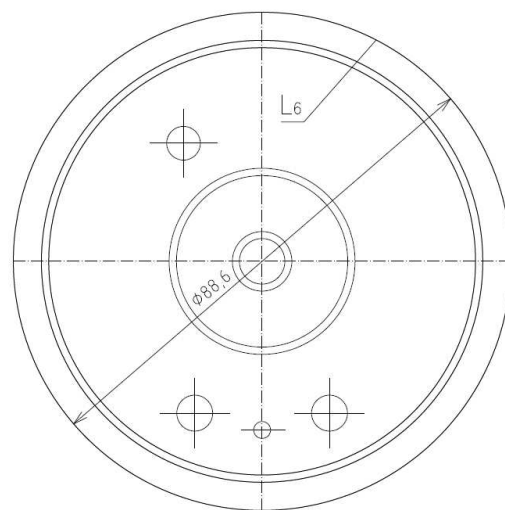
**Síla potřebná pro vystřížení součásti:** (obr. 5.13)

$$F_{s2} = L_{sou} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o = 2 \cdot \pi \cdot r_6 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o = 2 \cdot \pi \cdot 44,3 \cdot 1,25 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 1,2$$

$$F_{s2} = \underline{\underline{100204N}} = \underline{\underline{100,2kN}}$$



Obr. 5.12 Děrování



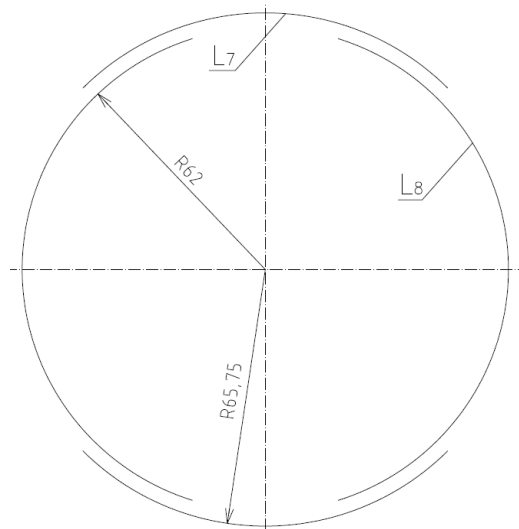
Obr. 5.13 Vystříhování

**Síla potřebná pro nástřihy:** (obr. 5.14)

$$F_{s3} = L_{nas} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o = (2 \cdot L_7 + 2 \cdot L_8) \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o$$

$$F_{s3} = (2 \cdot 122 + 2 \cdot 157) \cdot 1,25 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 1,2 = \underline{\underline{200880N}} = \underline{\underline{200,9kN}}$$

Síla potřebná pro nástřih je ve skutečnosti menší. Nástroj nenastřihuje celou délku najednou, ale postupně jako při stříhu nůžkami. Je podobný nástroji pro snížení střížné síly z obr. 3.3c.



Obr. 5.14 Nástřihy

**Síla potřebná pro odstřížení odpadu na konci nástroje:**

$$F_{s4} = L_{nas} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o = L_9 \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o$$

$$F_{s4} = 140 \cdot 1,25 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 1,2 = \underline{\underline{50400N}} = \underline{\underline{50kN}}$$

**Síla potřebná na střížení děr pro hledáčky:**

$$F_{s5} = L_{nas} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o = L_{10} \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n_o$$

$$F_{s5} = 50,3 \cdot 1,25 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 1,2 = \underline{\underline{18108N}} = \underline{\underline{18,1kN}}$$

**Celková střížná síla:**

$$\sum F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} = 30,1 + 100,2 + 200,9 + 50 + 18,1 = \underline{\underline{399,3kN}}$$

**Stírací síla:**

Volím dle firmy 8 ÷ 10% ze  $\sum F_s$ .

$$F_{ss} = \sum F_s \cdot 0,08 = 399,3 \cdot 0,08 = \underline{\underline{32kN}}$$

### 5.3.4 VÝPOČTY POTŘEBNÉ PRO NÁVRH STROJE

Výpočet celkové síly potřebné pro výrobu a funguje jako pomůcka pro volbu stroje.

$$F_c = \sum F_p + \sum F_s + F_{pr} + \sum F_t = 123,5 + 399,3 + 4,4 + 162,4 = \underline{\underline{629,6kN}}$$

## 5.4 VOLBA STROJE

Zvolený stroj musí vyhovovat svými parametry, ať rozměrovými, tak procesními postupovému nástroji. To znamená, že stroj musí mít dostatečnou sílu pro dané procesy, ale také musí nástroj obsáhnout.

Pro správné parametry volím stroj, který již firma vlastní. K výbavě tohoto stroje patří rovnačka plechu složená ze dvou válců, která je zároveň podavačem.

Pro automatickou funkci výroby nástrojem je potřeba použít ke stroji (lisu) KAISER KSTU2500 ještě přídatná zařízení. Těmito zařízeními jsou:

- pásový dopravník – ten má za úkol dopravit vystřížený výrobek z pod nástroje do přepravní bedny (firma jej vlastní)
- „skluzavka“ – ta odstraňuje odstřížený odpad plechu na konci nástroje (firma ji vlastní)
- mazací zařízení – slouží k mazání plechu pro zlepšení procesu tažení (firma jej vlastní)

### Parametry stroje (lisu) KAISER KSTU2500:

$$F_{\text{max}} = 250 \text{ t} = 2500 \text{ kN}$$

max. síla lisu

$$N_z = (20 \div 150) \text{ min}^{-1}$$

počet zdvihů za minutu

$$l_{zB} = (40 \div 200) \text{ mm}$$

velikost zdvihu

$$l_{PB} = 150 \text{ mm}$$

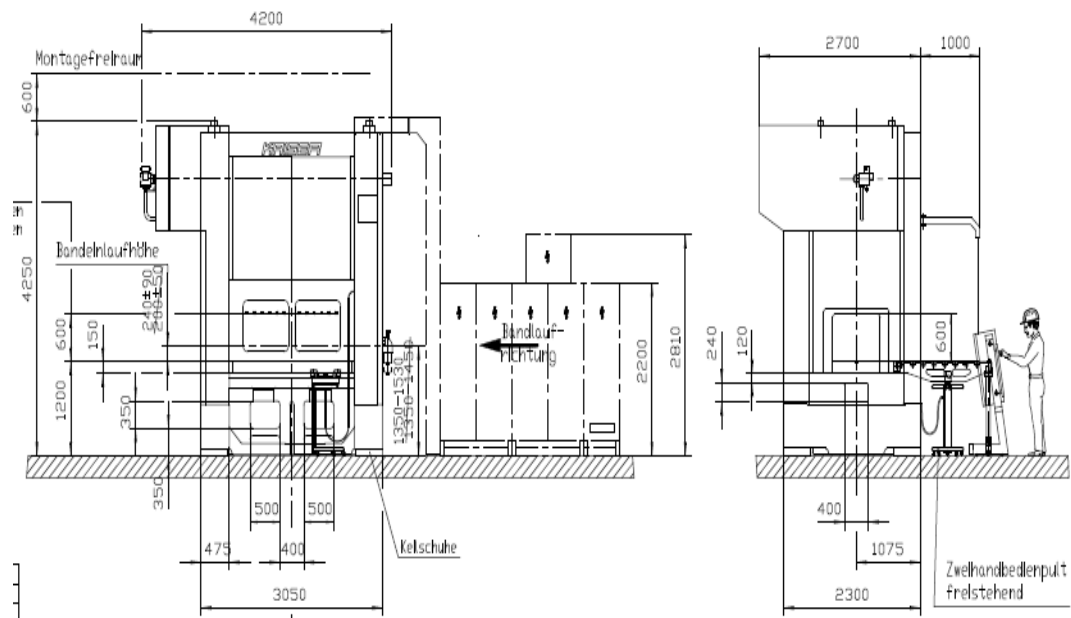
přestavitelnost beranu

$$L_p = (8 \div 300) \text{ mm}$$

šíře pásu

$$P_1 = 55 \text{ kW}$$

výkon lisu

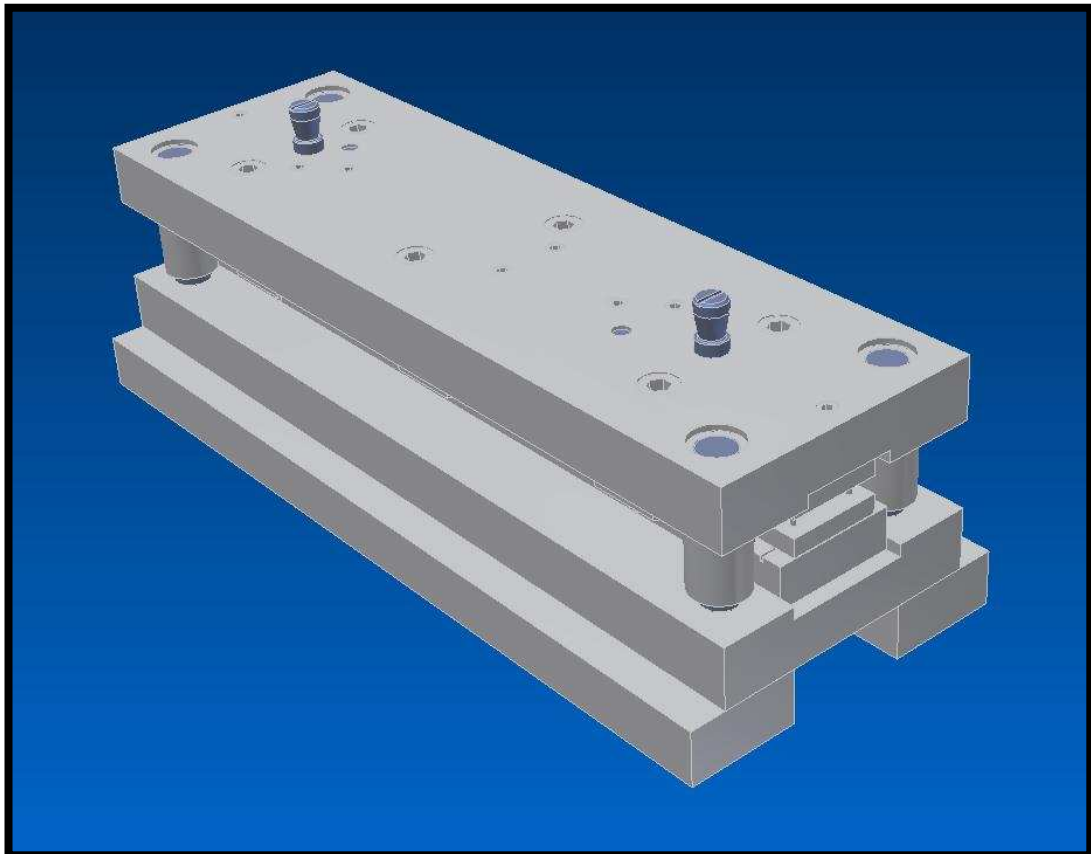


Obr. 5.15 Schéma lisu KAISER KSTU2500<sup>8</sup>

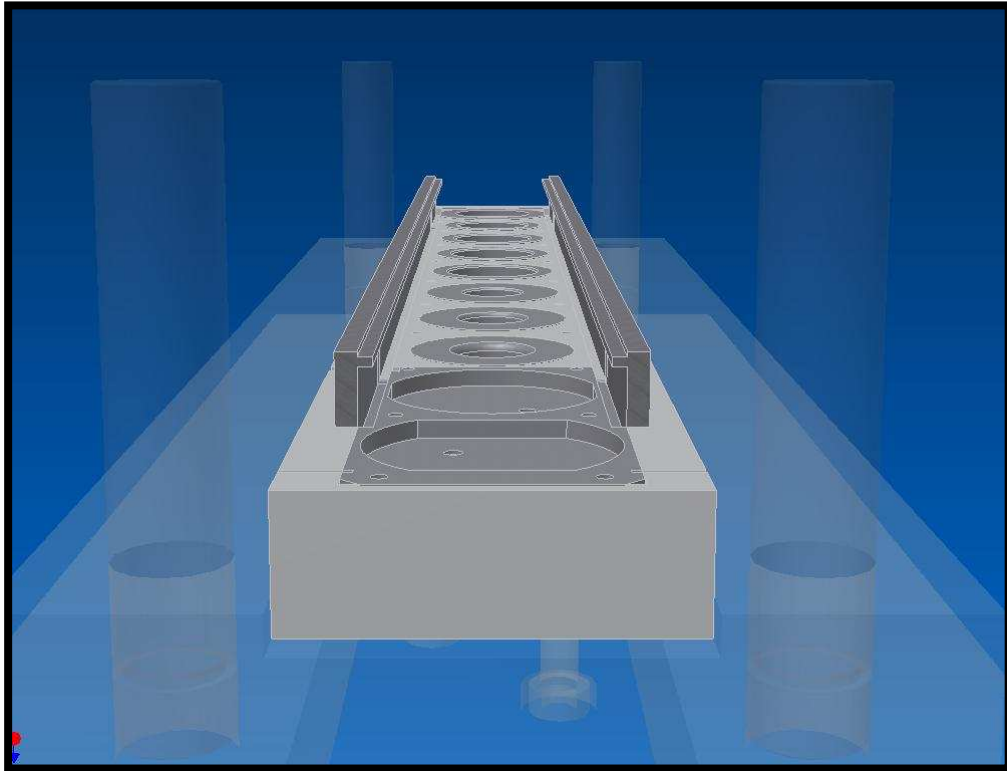
## 5.5 POPIS PRÁCE S NAVRŽNÝM POSTUPOVÝM NÁSTROJEM

Nástroj se vloží do stroje (lisu) KAISER KSTU2500. Ustaví se do středu stroje a upevní hydraulickými přidržovači. K přesnému ustavení slouží stopky na vrcholu nástroje (obr. 5.16). Stopky pro ustanovení nejsou umístěny dle výslednice sil. Nástroj je dostatečné velikosti a beran stroje se nemusí příliš snižovat. Přesnost vedení tedy zůstane zachována.

Obsluha stroje zavede svitek plechu přes automatický podavač do nástroje. Namísto načínacího dorazu bude použita vyfrézovaná drážka, která je v dolní části nástroje (obr. 5.16, 5.17, příloha č. 4). Spustí se mazací zařízení, které kape mazivo na pás a válce jej rovnoměrně rozprostřou po povrchu (jako mazivo je doporučeno firmou použít ADITOL M15). V prvním kroku se vystříhnou díry pro hledáčky. Obsluha musí pás plechu přidržet i při druhém sevření nástroje. Teprve poté se dostane pás plechu ze svitku automatickým posunutím na zdvihací zařízení, které slouží pro usnadnění přepravy (obr. 5.17). Nyní už stroj funguje automaticky. V každém kroku se při klesání horní části nástroje hledáčky vycentruje pás plechu, a poté přidržovač stlačí pás plechu, který je uložen ve zdvihacím zařízení odpruženém plynovými pružinami. Jakmile dojde k dosednutí pásu a jeho přidržení, proběhne všech 12 kroků zobrazených v tažném plánu v příloze č. 2 a popsané v kapitole 5.3.1.



Obr. 5.16 Model nástroje v dolní úvrti



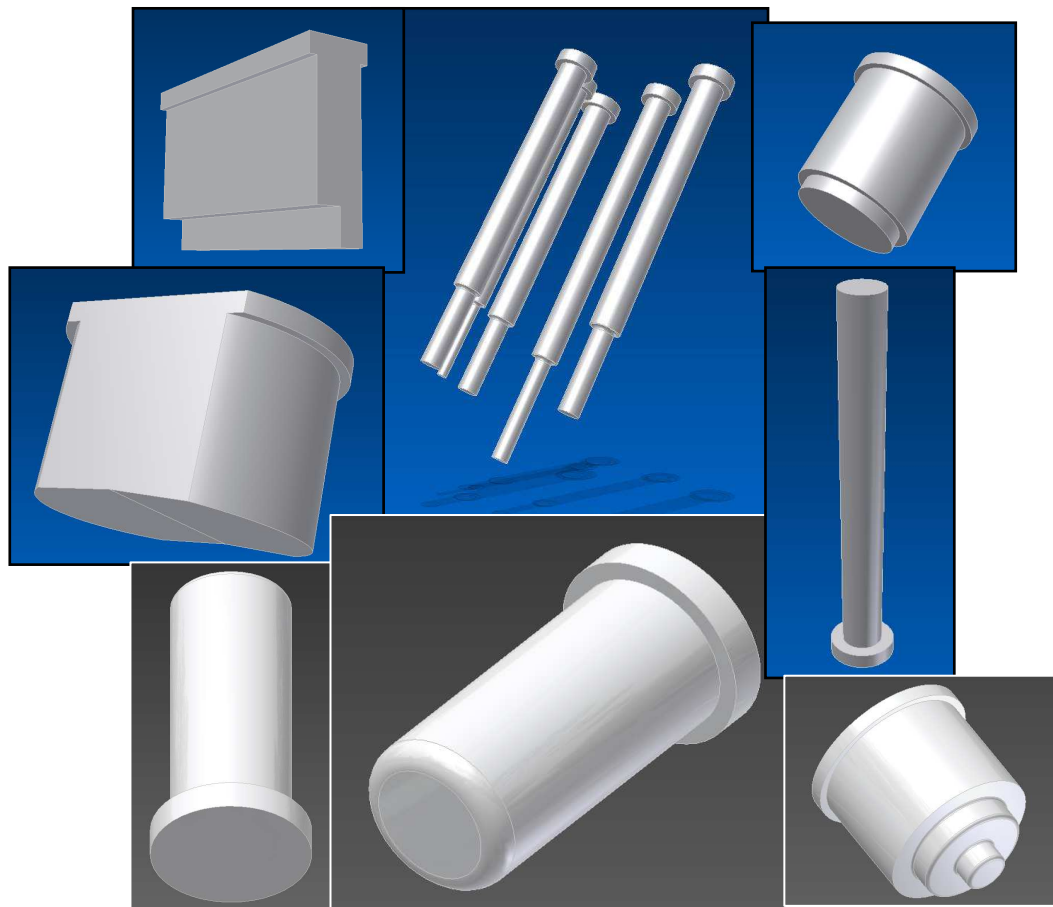
Obr. 5.17 Model systém nadzvedávání pásu plechu

## 5.6 VOLBA VHODNÝCH SOUČÁSTÍ PRO POSTUPOVÝ NÁSTROJ

V postupovém nástroji je použito tažení, stříhání a protahování. Pro dobrou funkci všech částí nástroje je potřeba zvolit správné způsoby uchycení, vhodný materiál a pomocná zařízení.

### 1. Střížníky a tažníky

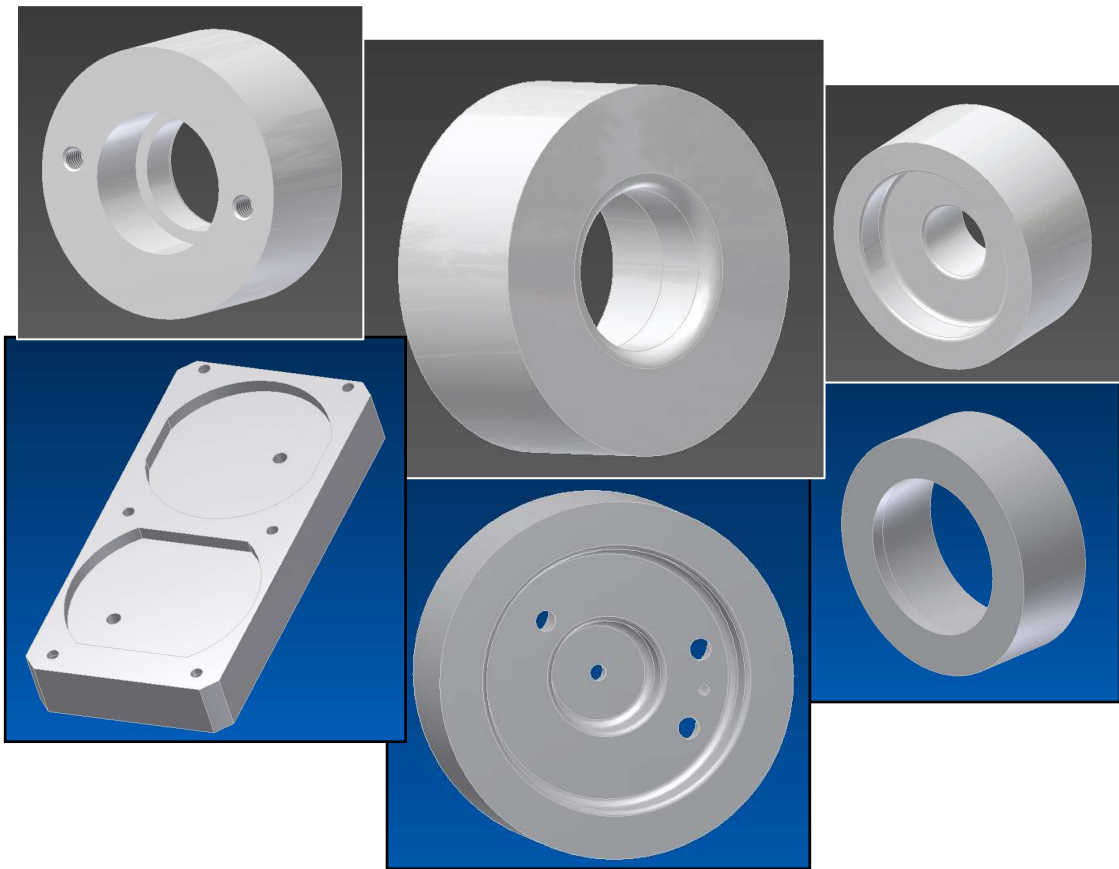
Nástroj obsahuje 8 různých střížníků a 5 tažníků. Ty jsou uchyceny v kotevní desce horní části nástroje osazením (obr. 5.18 střížníky modré pozadí a tažníky šedé). V této desce jsou usazeny v přesném uložení H7/h6, díky kterému není třeba využívat kolíku pro vystředění. Střížníky a tažníky se při záběru opírají o opěrnou desku. Jinou alternativní metodou uchycení je možnost uchycení šrouby, která není vhodná pro malé střížníky, a proto jsem ji nevyužil. Osazení může mít různé tvary a to buď válcovité, nebo kuželovité, které jsou nejčastěji používané. Jako materiál pro výrobu střížníků byla zvolena ocel 19 312.8, která je kalená (pro zvýšení tvrdosti na  $58 \div 60$  HRC) a běžně používaná pro výrobu střížných nástrojů. Pro výrobu tažníků byla zvolena ocel 19 436.8, která je primárně a sekundárně kalená (pro dosažení vysoké tvrdosti povrchu na  $60 \div 62$  HRC). Povrch lze také titanovat, ale to je již finančně a časově náročnější proces. Proto titanování volím jako nevhodné. Pro plynulejší tažení je třeba leštit funkční část tažníků. (viz výkres 4-DP-FABIK-29).



Obr. 5.18 Modely střížníků a tažníků

## 2. Střížnice a tažnice

Naproti střížníkům a tažníkům v dolní části nástroje se nacházejí střížnice a tažnice (obr. 5.19 střížnice modré pozadí a tažnice šedé). Ty jsou uchyceny v dolní kotevní desce. Pro jejich uchycení není použito osazení, ale šroubů M10 a M6. Pro vystředění se opět používá přesného uložení H7/h6. Jen u nástřihů a děrování pro hledáčky je použito dvou kolíků pro vystředění spojené střížnice. Materiál pro výrobu střížnic a tažnic zůstává stejný jako pro střížníky a tažníky i se zachováním tepelných úprav. Pro plynulejší tažení je třeba leštit funkční část tažnic. (viz výkres 3-DP-FABIK-30).



Obr. 5.19 Modely střížnic a tažnic

### 3. Trn a matrice pro protažení

Nástroj obsahuje jeden trn pro protažení (obr. 5.20), který je uchycen stejným způsobem jako střížníky a matici (obr. 5.21), která je uchycena již popsaným způsobem u tažnic a střížnic. Jako vhodný materiál pro výrobu trnu byla zvolena ocel 19 412.8, která je doporučena a běžně užívána ve firmě. Materiál pro výrobu matrice je stejný, jako u tažníků a tažnic.



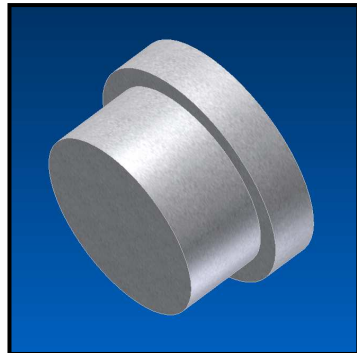
Obr. 5.20 Model trnu protažení



Obr. 5.21 Model matrice protažení

#### 4. Ostatní funkční součásti postupového nástroje

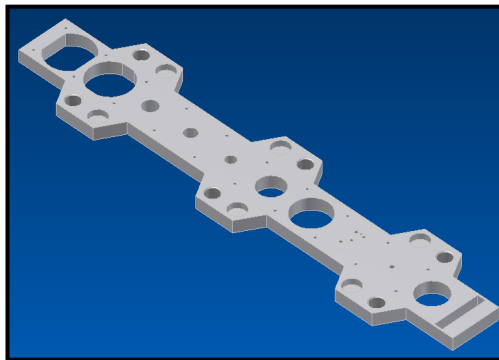
Vyhazovač:



Obr. 5.22 Vyhazovač

V nástroji je umístěn v tažnicích a matici pro protažení. Slouží k vytlačení výlisku z tažnice po dokončení tažení. Pro vyvolání vyhazovací síly se využívá plynových pružin síly 0,15 kN (viz níže). Jako doraz proti vyskočení vyhazovače je využíváno osazení. Je vyroben z materiálu 12 050.4.

Přidržovač (stírač):



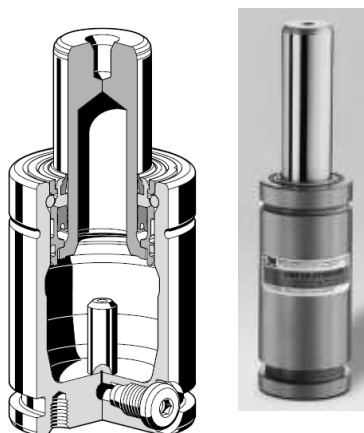
Obr. 5.23 Přidržovač (stírač)

Je v nástroji upevněn šesti šrouby, na kterých se pohybuje. Přidržovací síla je vyvolána šesti plynovými pružinami o síle 30 kN (viz níže). Jeho funkcí je několik:

- přidržovat plech při tažení a stříhání
- přetlačit zdvihací zařízení (obr. 5.17) a vyhazovače
- vést nástroje
- setřít plech ze střížníků

Je vyroben z mat. 19 436.4.

Plynové pružiny FIBRO <sup>23</sup>:

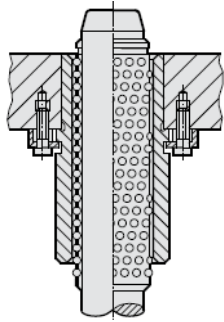


Plynové pružiny jsou často ideálnější volbou pro lisovací nástroje, a to hned z několika důvodů. Plynová pružina vyvolává potřebnou sílu okamžitě při dosednutí nástroje. Při zdvihu pružiny vniká píst do tlakového prostoru. Se zvětšováním pracovní délky zdvihu se objem tlakového prostoru zmenšuje. Vzniká nárůst tlaku podmíněný tímto zdvihem, který lze odečíst z diagramu v katalogu. Pokud by se stalo, že síla zvolené plynové pružiny je příliš velká, je možnost ji dále upravovat odpuštěním tlakového média (dusíku). <sup>23</sup>

Pro postupový nástroj používám plynové pružiny o síle  $F = 0,15$  kN a  $F = 30$  kN.

Obr. 5.24 Plynová pružina <sup>23</sup>

Přesné kuličkové vedení FIBRO <sup>23</sup>:



Tento druh vedení je velmi přesný. Díky tomu se zajistí přesnost stříhání, tažení, i protahování a zabrání se většímu opotřebování nástrojů. Kuličkové vedení je připevněno dle obrázku 5.25 k upínací desce.

Obr. 5.25 Kuličkové ložisko <sup>23</sup>

Vodící sloupky FIBRO <sup>23</sup>:



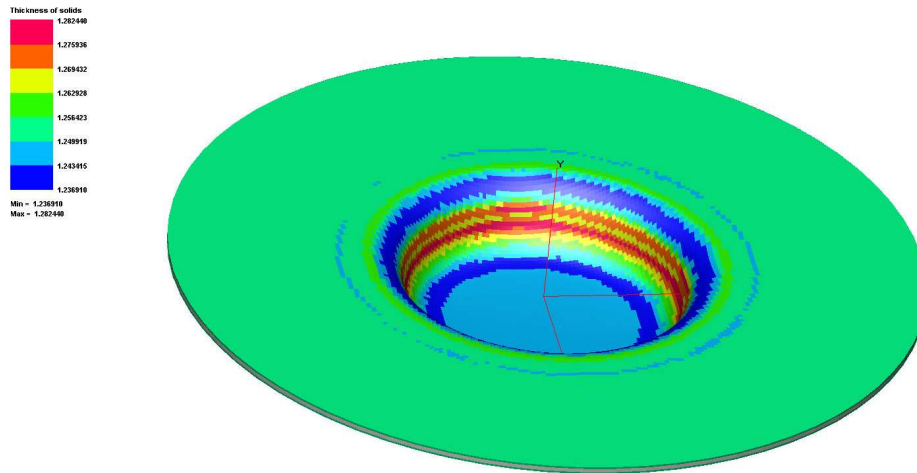
Pro postupový nástroj používám dva průměry vodících sloupků a to  $\varnothing 60$  mm a  $\varnothing 63$  mm. Toto opatření slouží pro montáž postupového nástroje, aby nedošlo k otočení horní části nástroje.

Obr. 5.26 Vodící sloupek <sup>23</sup>

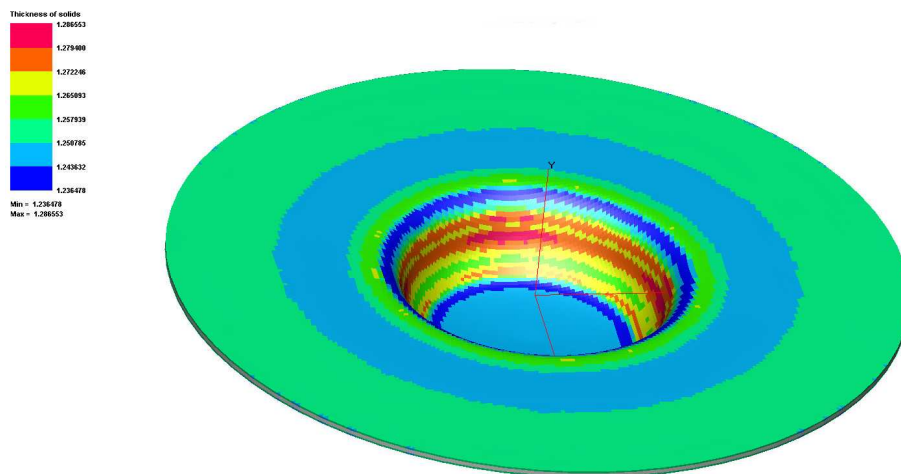
## 5.7 MODELACE PRŮBĚHU TAŽENÍ

V dnešní moderní strojírenské výrobě existuje spousta programů, které pomáhají snižovat plýtvání materiálem a časem. K těmto programům patří i program PAM-STAMP 2011. Tento program jsem využil pro modelaci postupového tažení. Je schopen ukázat změny, které po jednotlivých tazích vznikají v taženém materiálu. Díky odhalení chyb tažení v tomto programu jsem ustoupil od tažení odvozeného ze stávající výroby v první i druhé variantě tažného plánu a upravil třetí použitou variantu (viz příloha č. 2).

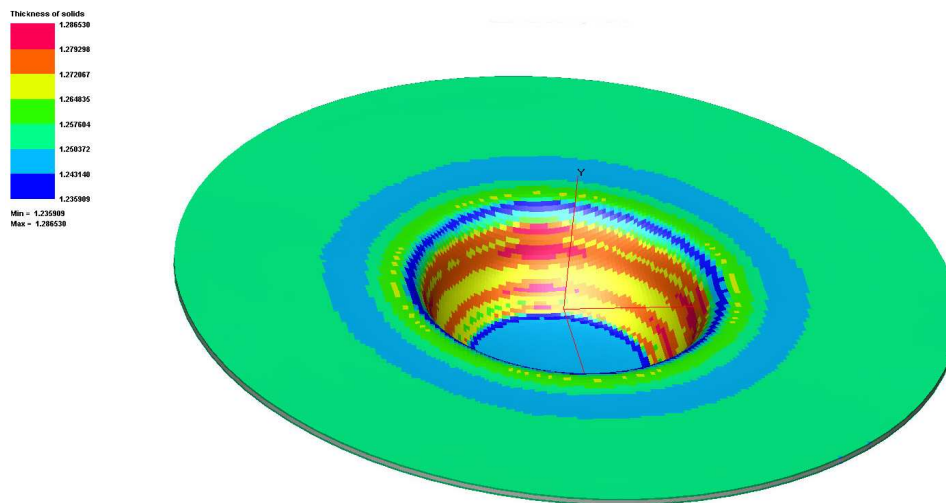
Na obrázcích 5.27 ÷ 5.30 můžeme vidět změny, které probíhají v materiálu při tažení součásti „tělesa houkačky“. Tyto hodnoty zobrazuje program PAM-STAMP 2G 2011. Jedná se o změnu tloušťky materiálu v konečných fázích jednotlivých tahů. Je tak možno sledovat jeho přeskupování. V levém horním rohu je měřítko tloušťky plechu.



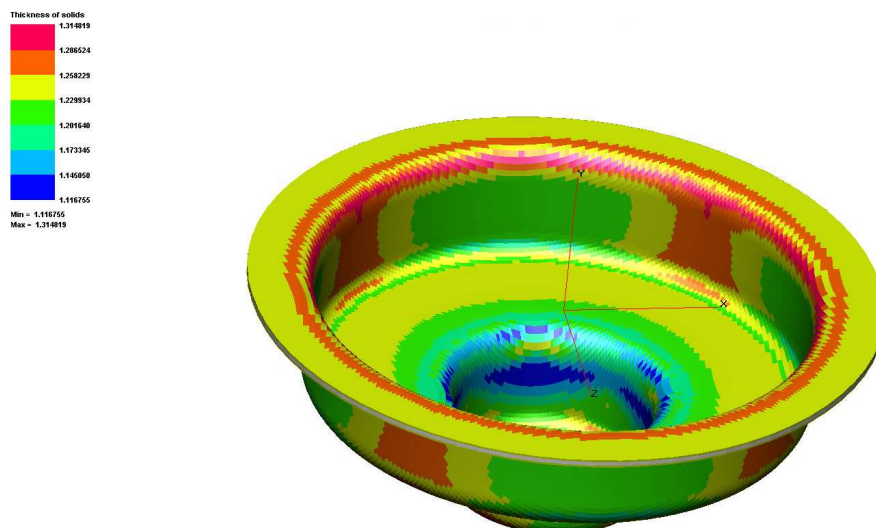
Obr. 5.27 Změna tloušťky stěn po I. tahu (modrá  $t = 1,237\text{mm}$ , červená  $t = 1,282\text{mm}$ )



Obr. 5.28 Změna tloušťky stěn po II. tahu (modrá  $t = 1,237\text{mm}$ , červená  $t = 1,287\text{mm}$ )



Obr. 5.29 Změna tloušťky stěn po III. tahu (modrá  $t = 1,236\text{mm}$ , červená  $t = 1,287\text{mm}$ )



Obr. 5.30 Změna tloušťky stěn po IV. tahu (modrá  $t = 1,117\text{mm}$ , červená  $t = 1,315\text{mm}$ )

Ze simulace ve IV. tahu na obr. 5.30 je vidět, že k napěchování materiálu (zesílení tloušťky stěny výtažku) dochází v místě příruby výtažku a naopak k největšímu zeslabení tloušťky stěny výtažku dochází v oblasti zaoblení nejmenšího taženého průměru. Největší pravděpodobnost vzniku defektu (odtržení stěny nejmenšího průměru od zaoblení) se nachází v oblasti přechodu zaoblení do stěny nejmenšího průměru. Výše zmíněné odchylky tloušťky plechu jsou však zanedbatelné a nemají vliv na funkčnost výtažku. Jinak je z obrázku simulace patrné, že by měl být průběh tažení bez problémů.

## 6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola odpovídá na otázku, je-li zvolená varianta inovace výroby výhodnější než stávající výroba. Pokud ano za jak dlouho se vrátí vynaložené finanční prostředky, které byly pro inovaci výroby zapotřebí, při roční výrobní dávce 225 000 ks za rok.

### 6.1 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

Z nových inovačních způsobů výroby byla jako nejvhodnější vybrána výroba plošným tvářením, ze svitku plechu, na postupovém nástroji. (viz kapitola 5)

Hlavním důvodem byl tvar součásti, který je pro jiné způsoby výroby nevhodný. U jiných způsobu výroby by stoupla odpadovost materiálu, počet potřebných strojů, nebo by se výroba zdatelně zpomalila.

### 6.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

#### 6.2.1 OBECNÁ TEORIE EKONOMICKÉHO HODNOCENÍ

**Kalkulace nákladů** je činnost potřebná k řízení nákladů. Dá se taky vyjádřit jako sledování nákladů. Zjednodušeně vyjadřuje písemný přehled jednotlivých složek nákladů a jejich úhrn na kalkulační jednici.<sup>15</sup>

Význam kalkulace nákladů:

- ke stanovení vnitropodnikových cen a výkonů
- k sestavování rozpočtů
- ke kontrole, rozboru hospodárnosti a rentability výkonů

**Kalkulační jednice** vyjadřuje určitý výkon, např. výrobek, práci nebo službu vymezenou měřicí jednotkou (jednotku množství ks, hmotnosti kg, času hod, apod.).<sup>15</sup>

**Kalkulační druhy**

- kalkulační úroky za použití vlastního kapitálu,
- kalkulační nájemné za použití vlastních prostor,
- kalkulační odpisy, které se účtují v takové výši, aby zajistily substanční zachování kapitálu. Tzn., aby při náhradě daného prostředku byly k dispozici peníze potřebné k jeho náhradě. Účtují se tak dlouho, dokud je daný prostředek využíván.<sup>16</sup>

**Základní rozdělení nákladů:**

**Přímé náklady** jsou přímo zjistitelné na kalkulační jednici jako například spotřeba materiálu či mezd. U předběžné kalkulace vychází propočten těchto nákladů především z již zmiňovaných norem spotřeby materiálu či norem pracovních.<sup>18</sup>

**Náklady nepřímé (režijní)** jsou společné pro celou výrobu všech výrobků nebo šířeji pro celý podnik. Patří sem například náklady na spotřebu elektrické energie, odpisy dlouhodobého majetku, mzdy režijních pracovníků (vedoucí výroby), ale i mzdy administrativního aparátu podniku. Tyto náklady obvykle nelze přímo přiřadit na kalkulační jednici, a proto se využívá různých metod, například prostá kalkulace dělením, přírážková kalkulace či kalkulace s poměrovými čísly. Předběžná kalkulace režijních nákladů vychází obvykle z rozpočtů režijních nákladů.<sup>18</sup>

Lze je rozdělit na:

- a) výrobní – zahrnuje nákladové položky související s řízením a obsluhou výroby, jako jsou režijní mzdy, odpisy strojního zařízení, náklady na opravu, údržba nebo spotřeba energie.<sup>16</sup>
- b) správní – jsou položky související s řízením podniku, např. odpisy správních budov, platy řídicích pracovníků, poštovné, telefonní poplatky, počítače administrativních pracovníků, audity, nebo náklady na vzdělávání.<sup>16</sup>
- c) zásobovací – náklady na skladování materiálu, odpisy skladovacích zařízení, mzdy skladníků.<sup>16</sup>
- d) odbytovou – náklady spojené s odbytem, dopravou, prodejem, marketingem apod.<sup>16</sup>

Bývá zvykem sestavovat kalkulaci formou tzv. **kalkulačního vzorce**, což je vlastně určitý sled jednotlivých nákladových položek. Za existence Československa existovala „federální“ vyhláška o kalkulaci, která udávala i typizovaný kalkulační vzorec, nyní záleží na každém podniku, jak si svůj kalkulační určí sám. Možný kalkulační vzorec může vypadat například takto:<sup>18</sup>

#### **Typový kalkulační vzorec:<sup>18</sup>**

1. Přímý materiál (bezprostředně nutný k výrobě)
2. Přímé mzdy (pracovníků vyrábějící výrobek)
3. Ostatní přímé náklady
4. Výrobní provozní režie (společné náklady na výrobu)

---

#### **5. SOUČET 1+2+3+4 VLASTNÍ NÁKLADY VÝROBY**

6. Správní režie
7. Zásobovací režie

---

#### **8. SOUČET 5+6+7 VLASTNÍ NÁKLADY VÝKONU**

9. Odbytová režie

---

#### **10. SOUČET 8+9 ÚPLNÉ VLASTNÍ NÁKLADY VÝKONU**

11. Zisk

---

#### **Cena výkonu**

## 6.2.2 VÝPOČET NÁKLADŮ

### 6.2.2.1 VÝPOČET PŘÍMÝCH NÁKLADŮ STÁVAJÍCÍ VÝROBY

#### Přímý materiál:

Jako polotvar pro výrobu součásti je svitek plechu rozměru 1,25 x 120 x 120 mm.

**Počet rondelů (přístřihů) z jednoho svitku**  $P_{\text{rondelů}}$

$$P_{\text{rondelů}} = \frac{L_{\text{svitku}}}{k} = \frac{451000}{120} = \underline{\underline{3758ks}} \quad (6.1)$$

kde

$L_{\text{svitku}}$  [mm] délka jednoho svitku

**Potřebný počet svitků**  $P_{\text{svitků}}$

$$P_{\text{svitků}} = \frac{P_{\text{výtažků}}}{P_{\text{rondelů}}} = \frac{225000}{3758} = \underline{\underline{60ks}} \quad (6.2)$$

kde

$P_{\text{výtažků}}$  [ks] počet výtažků

Pro výrobu 225 000 ks součásti „těleso houkačky“, je potřeba 60 svitků + 1% pro případné ztráty =>  $60 + 0,6 = 61$  ks svitků.

**Náklady na přímý materiál**  $N_{\text{pm}}$

$$N_{\text{pm}} = P_{\text{svitků}} \cdot c_{\text{mat.}} = 61 \cdot 11686,24 = \underline{\underline{712861Kč}} \quad (6.3)$$

kde

$c_{\text{mat}}$  [Kč] cena 1 ks svitku zjištěné firmou

**Hmotnost odpadu**  $m_o$

$$m_o = m_{\text{osvitku}} \cdot P_{\text{svitků}} = 176,5 \cdot 61 = \underline{\underline{10766,5kg}} \quad (6.4)$$

kde

$m_{\text{osvitku}}$  [kg] hmotnost odpadu z 1 svitku

**Zhodnocení odpadu**  $N_o$

$$N_o = m_o \cdot c_o = 10766,5 \cdot 4 = \underline{\underline{43066Kč}} \quad (6.5)$$

kde

$c_o$  [Kč] cena za kilogram odpadu

**Celkové náklady na přímý materiál**  $N_{\text{mat}}$

$$N_{\text{mat}} = N_{\text{pm}} - N_o = 712861 - 43066 = \underline{\underline{669795Kč}} \quad (6.6)$$

**Přímé mzdy:**

Přípravný čas (seřizování) je 0,5 h/směna a čas kontroly také 0,5 h/směna. Také se musí započítat povinná přestávka 0,5h/směna.

**Počet kusů za směnu  $p_{\text{kusů}}$** 

$$P_{\text{kusů}} = p_{\text{výtažků}} \cdot t_s = 180 \cdot 6,5 = \underline{\underline{1170 \text{ks} \cdot \text{smena}^{-1}}} \quad (6.7)$$

kde

$p_{\text{výtažků}}$  [ks]      počet výtažků za hodinu  
 $t_s$  [h]              čistý čas práce za směnu

**Počet směn  $p_{\text{směn}}$** 

$$P_{\text{směn}} = \frac{P_{\text{výtažků}}}{P_{\text{kusů}}} = \frac{225000}{1170} = \underline{\underline{192,3}} \Rightarrow \underline{\underline{193 \text{směn}}} \quad (6.8)$$

**Celkový výrobní čas  $t_h$** 

$$t_h = P_{\text{směn}} \cdot 7,5 = 193 \cdot 7,5 = \underline{\underline{1447,5 \text{h}}} \quad (6.9)$$

**Náklady na mzdy  $N_{\text{mzdy1}}$** 

$$N_{\text{mzdy1}} = c_h \cdot t_h = 100 \cdot 1447,5 = \underline{\underline{144750 \text{Kč}}} \quad (6.10)$$

kde

$c_h$  [Kč]              hodinová mzda

**Celkové náklady na mzdy  $N_{\text{mzdy}}$** 

$$N_{\text{mzdy}} = n_p \cdot N_{\text{mzdy1}} = 7 \cdot 144750 = \underline{\underline{1013250 \text{Kč}}} \quad (6.11)$$

kde

$n_p$  [-]              počet pracovníků

**Ostatní přímé náklady:****Náklady na energii stroje 1  $N_{\text{energ1}}$** 

$$N_{\text{energ1}} = t_h \cdot c_e \cdot P_s = 1447,5 \cdot 4,61 \cdot 25 = \underline{\underline{166825 \text{Kč}}} \quad (6.12)$$

kde

$c_{\text{energ}}$  [Kč·kWh<sup>-1</sup>]      cena elektrické energie  
 $P_s$  [kW]                  výkon stroje

**Náklady na energii stroje 2  $N_{\text{energ2}}$** 

$$N_{\text{energ2}} = t_h \cdot c_e \cdot P_s = 1447,5 \cdot 4,61 \cdot 45 = \underline{\underline{300284 \text{Kč}}} \quad (6.13)$$

**Celkové náklady na energii stroje  $N_{\text{energ}}$** 

$$N_{\text{energ}} = 6 \cdot N_{\text{energ1}} + N_{\text{energ2}} = 6 \cdot 166825 + 300284 = \underline{\underline{1301234 \text{Kč}}} \quad (6.14)$$

**Výsledné přímé náklady:****Celkové přímé náklady  $N_p$** 

$$N_p = N_{mat} + N_{mzdy} + N_{energ} = 669795 + 1013250 + 1301234 = \underline{\underline{2984279Kč}} \quad (6.15)$$

**Přímé náklady na 1 výtazek  $N_{p1}$** 

$$N_{p1} = \frac{N_p}{P_{výtazků}} = \frac{2984279}{225000} = \underline{\underline{13,3Kč}} \quad (6.16)$$

**6.2.2.2 VÝPOČET NEPŘÍMÝCH NÁKLADŮ STÁVAJÍCÍ VÝROBY****Náklady na výrobní a správní režii  $N_r$** 

$$N_r = \frac{N_{p1} \cdot P_{výtazků} \cdot (R_v + R_s)}{100} = \frac{13,3 \cdot 225000 \cdot (80 + 60)}{100} = \underline{\underline{4189500Kč}} \quad (6.17)$$

kde

 $R_v$  [%] výrobní režie $R_s$  [%] správní režie**Variabilní náklady  $N_v$** 

$$N_v = N_p + N_r = 2984279 + 4189500 = \underline{\underline{7173779Kč}} \quad (6.18)$$

**Variabilní náklady na 1 výtazek  $N_{v1}$** 

$$N_{v1} = \frac{N_v}{P_{výtazků}} = \frac{7173779}{225000} = \underline{\underline{31,8Kč}} \quad (6.19)$$

**Fixní náklady  $N_f$** 

Cena nástrojů je stanovena ve spolupráci s pracovníky firmy odhadem na 200 000 Kč.

$$N_f = 200000Kč \quad (6.20)$$

**6.2.2.3 VÝPOČET CELKOVÝCH NÁKLADŮ STÁVAJÍCÍ VÝROBY****Náklady celkem  $N_c$** 

$$N_c = N_v + N_f = 7173779 + 200000 = \underline{\underline{7373779Kč}} \quad (6.21)$$

**Náklady celkem na 1 výtazek  $N_{c1}$** 

$$N_{c1} = \frac{N_c}{P_{výtazků}} = \frac{7373779}{225000} = \underline{\underline{32,8Kč}} \quad (6.22)$$

**Zisk při výrobě  $Z$**

$$Z = \frac{[(N_{c1} \cdot P_{\text{výtažků}}) + N_f] \cdot z}{100} = \frac{[(32,8 \cdot 225000) + 200000] \cdot 12}{100} = \underline{\underline{909600 \text{ Kč}}} \quad (6.23)$$

kde

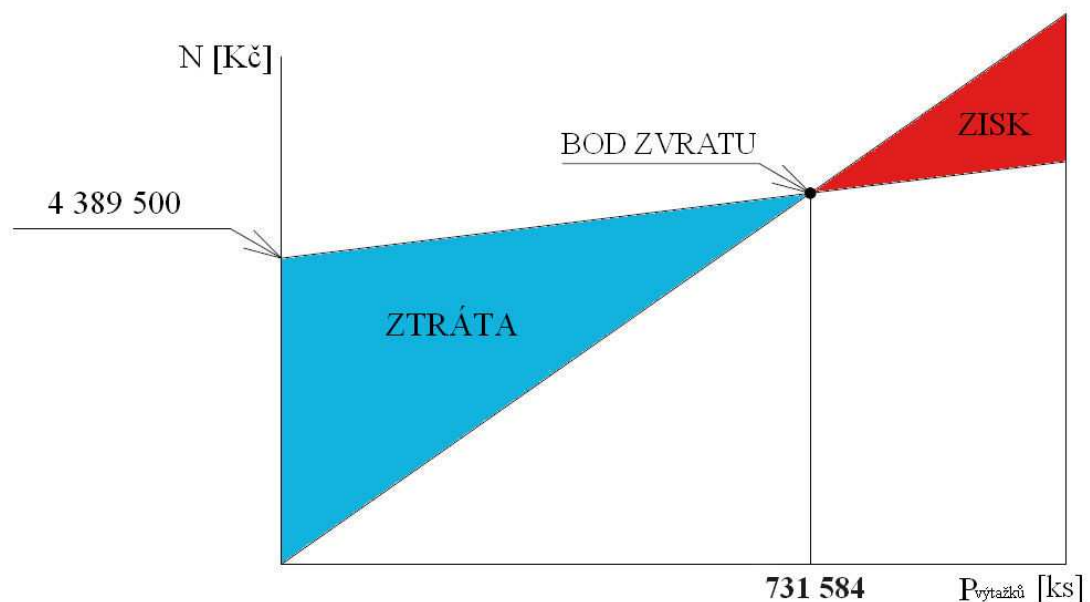
z [%] zisk

**Cena 1 výtažku při zahrnutí zisku 12%  $c_{v1}$** 

$$c_{v1} = \frac{(N_{c1} \cdot P_{\text{výtažků}}) + N_f + Z}{P_{\text{výtažků}}} = \frac{(32,8 \cdot 225000) + 200000 + 909600}{225000} = \underline{\underline{37,8 \text{ Kč}}} \quad (6.24)$$

**Bod zvratu  $B_z$** 

$$B_z = \frac{N_f + N_r}{c_{v1} - N_{v1}} = \frac{200000 + 4189500}{37,8 - 31,8} = \underline{\underline{731584 \text{ ks}}} \quad (6.25)$$



Obr. 6.1 Graf bodu zvratu stávající výroby

Na obr. 6.1 jde vidět, že počet výrobků, po kterém se náklady vyrovnají výnosům je ve stávající výrobě 731 584 ks. Což znamená z časového hlediska při roční sériovosti výrobku 225 000 ks dojde k bodu zvratu přibližně za 3,5 roku.

#### 6.2.2.4 VÝPOČET PŘÍMÝCH NÁKLADŮ NOVÉ VÝROBY

**Přímý materiál:**

Jako polotvar pro výrobu součásti je svitek plechu rozměru 1,25 x 140 x 140 mm.

**Počet rondelů (přístřihů) z jednoho svitku  $P_{\text{rondelů}}$**

$$P_{\text{rondelů}} = \frac{L_{\text{svitku}}}{k} = \frac{451000}{130} = \underline{\underline{3469ks}}$$

**Potřebný počet svitků**  $P_{\text{svitků}}$

$$P_{\text{svitků}} = \frac{P_{\text{výtažků}}}{P_{\text{rondelů}}} = \frac{225000}{3469} = \underline{\underline{65ks}}$$

Pro výrobu 225 000 ks součástí „těleso houkačky“, je potřeba 65 svitků + 1% pro případné ztráty =>  $65 + 0,65 = 66$  ks svitků.

**Náklady na přímý materiál**  $N_{\text{pm}}$

$$N_{\text{pm}} = P_{\text{svitků}} \cdot c_{\text{mat.}} = 66 \cdot 11686 = \underline{\underline{771276Kč}}$$

**Hmotnost odpadu za rok**  $m_o$

$$m_o = m_{\text{osvitku}} \cdot P_{\text{svitků}} = 244,4 \cdot 66 = \underline{\underline{16130,4kg}}$$

**Zhodnocení odpadu**  $N_o$

$$N_o = m_o \cdot c_o = 16130,4 \cdot 4 = \underline{\underline{64521,6Kč}}$$

**Celkové náklady na přímý materiál**  $N_{\text{mat}}$

$$N_{\text{mat}} = N_{\text{pm}} - N_o = 771276 - 64521,6 = \underline{\underline{706754,4Kč}}$$

**Přímé mzdy:**

Přípravný čas (seřizování) je 0,5 h/směna. Také se musí započítat povinná přestávka 0,5h/směna.

**Počet kusů za směnu**  $p_{\text{kusů}}$

$$P_{\text{kusů}} = p_{\text{výtažků}} \cdot t_s = 360 \cdot 7 = \underline{\underline{2520ks \cdot smena^{-1}}}$$

**Počet směn**  $p_{\text{směn}}$

$$P_{\text{směn}} = \frac{P_{\text{výtažků}}}{P_{\text{kusů}}} = \frac{225000}{2520} = \underline{\underline{89,3}} \Rightarrow \underline{\underline{90smen}}$$

**Celkový výrobní čas**  $t_h$

$$t_h = P_{\text{směn}} \cdot 7,5 = 90 \cdot 7,5 = \underline{\underline{675h}}$$

**Náklady na mzdy**  $N_{\text{mzdy}}$

$$N_{\text{mzdy}} = c_h \cdot t_h = 100 \cdot 675 = \underline{\underline{67500Kč}}$$

**Ostatní přímé náklady:**

**Náklady na energii stroje**  $N_{\text{energ}}$

$$N_{\text{energ}} = t_h \cdot c_e \cdot P_s = 675 \cdot 4,61 \cdot 55 = \underline{\underline{171146,3Kč}}$$

**Výsledné přímé náklady:****Celkové přímé náklady  $N_p$** 

$$N_p = N_{mat} + N_{mzdy} + N_{energ} = 706754,4 + 67500 + 171146,3 = \underline{\underline{945400,7Kč}}$$

**Přímé náklady na 1 výtažek  $N_{p1}$** 

$$N_{p1} = \frac{N_p}{P_{výtažků}} = \frac{945400,7}{225000} = \underline{\underline{4,3Kč}}$$

**6.2.2.5 VÝPOČET NEPŘÍMÝCH NÁKLADŮ NOVÉ VÝROBY****Náklady na výrobní a správní režii  $N_r$** 

Tyto náklady se od stávající výroby neliší. To znamená že  $N_r = 4\,189\,500Kč$ .

**Variabilní náklady  $N_v$** 

$$N_v = N_p + N_r = 945400,7 + 4189500 = \underline{\underline{5134900,7Kč}}$$

**Variabilní náklady na 1 výtažek  $N_{v1}$** 

$$N_{v1} = \frac{N_v}{P_{výtažků}} = \frac{5134900,7}{225000} = \underline{\underline{22,9Kč}}$$

**Fixní náklady  $N_f$** 

Cena nástrojů je stanovena ve spolupráci s pracovníky firmy odhadem na 500 000 Kč.

$$N_f = 500000Kč$$

**6.2.2.6 VÝPOČET CELKOVÝCH NÁKLADŮ NOVÉ VÝROBY****Náklady celkem  $N_c$** 

$$N_c = N_v + N_f = 5134900,7 + 500000 = \underline{\underline{5634900,7Kč}}$$

**Náklady celkem na 1 výtažek  $N_{c1}$** 

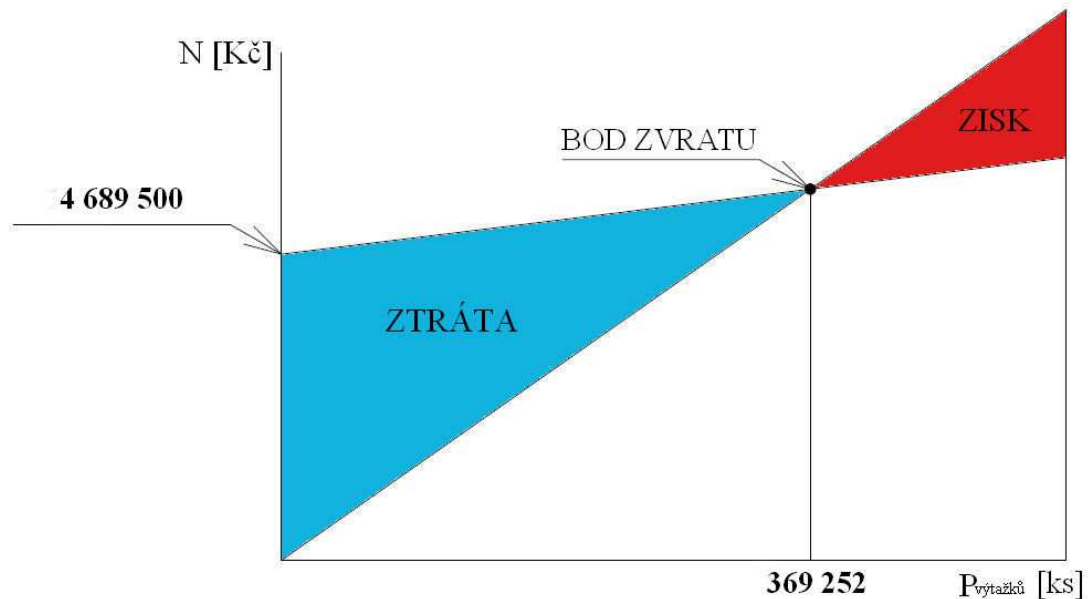
$$N_{c1} = \frac{N_c}{P_{výtažků}} = \frac{5634900,7}{225000} = \underline{\underline{25,1Kč}}$$

**Cena 1 výtažku zůstává stejná jako u stávající výroby  $c_{v1}$**

$$c_{v1} = \underline{\underline{37,8Kč}}$$

**Bod zvratu  $B_z$**

$$B_z = \frac{N_f + N_r}{c_{v1} - N_{c1}} = \frac{500000 + 4189500}{37,8 - 25,1} = \underline{\underline{369252ks}}$$



Obr. 6.2 Graf bodu zvratu nové výroby

Z obr. 6.2 jde vidět, že počet výrobků, po kterém se náklady vyrovnají výnosům je oproti stávající výrobě snížen na 369 252 ks. Což znamená z časového hlediska, že při roční sériovosti výrobku 225 000 ks dojde k bodu zvratu přibližně do jednoho a půl roku. To je způsobeno úsporami na mzdách 6 dělníků, kteří již nejsou pro výrobu této součásti potřeba, ale také snížené spotřebě elektrické energie, způsobené snížením počtu strojů z potřebných sedmi na jeden.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vypracování literární studie na možné inovativní technologie výroby pro součást „těleso houkačky“, dále návrh nové vhodné technologie výroby a zhotovení postupu výroby s návrhem stroje a nástroje. Na základě technicko-ekonomického zhodnocení byly porovnány obě výroby.

Součást „těleso houkačky“ je duté tenkostěnné těleso s otvory ve střední a horní části pro uchycení svorkovnice a houkačky. Je vyráběna v sérii 225 000 ks za rok. Bylo navrženo několik možností výroby součásti, ze kterých byla vybrána jako nejvhodnější technologie výroby technologie plošného tváření – tažení, přesněji postupového tažení ze svitku plechu.

Tato technologie byla porovnána s jinými možnými technologiemi výroby a jejich kombinacemi. Mezi zvažované patřila i kombinace tváření s obráběním (lití, kování, soustružení, vrtání), která vzhledem ke vyšším nákladům na pořízení strojů, nástrojů a vysoké spotřebě materiálu byla zamítnuta.

Nová technologie, byla také porovnána vzhledem ke stávající technologii výroby součásti ve firmě (sdružený nástroj a jednoduché lisovací nástroje). Díky zautomatizování výroby došlo ke značnému zrychlení výrobního procesu (přibližně dvojnásobný počet vyrobených kusů za minutu).

Ve výpočtové části práce byla stanovena velikost přístřihu, funkčních částí tažníků a tažnic, tažných, střížných a přidržovacích sil. Z těchto podkladů a velikosti nástroje byl určen stroj (lis) KAISER KSTU2500 pro výrobu, který má dostatečnou sílu a rozměry pro správnou funkci nástroje. Mezi další výhody patří to, že firma tento lis již vlastní, čímž se náklady na výrobu součásti o pořizovací cenu lisu snížily.

Při návrhu inovace výroby součásti byla snaha technologicky se držet stávající již prověřené a funkční výroby součásti. Proto byly navrženy tři varianty tažných plánů, z nichž první dvě byly odvozené z postupu stávající výroby. V nich se v prvním tahu vytahuje spodní část výtažku i se zásobou materiálu pro horní část. Tento návrh byl zamítnut pro velkou složitost konstrukce nástroje a chybu, která se odhalila při simulaci v programu PAM-STAMP 2G 2011. Zde bylo zjištěno natlačování polotovaru přidržovačem do tažnice. I přes změny v konstrukci nástroje nebylo možno tuto vadu levně a jednoduše odstranit. Proto byla pro výrobu navržena třetí varianta tažného plánu, která v prvních tazích vytvoří horní část součásti a v posledním spodní. Tato varianta proběhla v simulaci programu PAM-STAMP 2G 2011 bez problémů. Ze stávající výroby se nepodařilo zachovat ani polotovar - svitek plechu o rozměrech 1,25 x 120 x 120 mm, který musel být nahrazen svitkem o rozměrech 1,25 x 140 x 140 mm, a to z důvodu nastřížení pásu a přídatku na posunutí pásu. Touto změnou však cena materiálu nestoupá.

Pro zpřesnění výroby je v nástroji použito hledáček, které plech udrží ve správné poloze pro stříhání, tažení i protahování a přidržovač, který zabraňuje nechtěným posuvům a zvlnění. Pro rovnoměrné a přesné vedení nástroje jsou zde také použita kuličková vedení, díky kterým se dosahuje vysoké přesnosti tažení i stříhání a minimalizuje se otěr protilehlých nástrojů.

V závěrečné části práce je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení, které není zpracováno pro konkrétní firmu (nebyl umožněn přístup k ekonomickým datům). To znamená, že hodnoty cen kovů, elektrické energie, atd., byly stanoveny za pomoci konstrukčního oddělení a internetu. V tomto hodnocení je vidět, že nová výroba má sice

větší spotřebu materiálu, ale dochází k podstatným úsporám na mzdách a elektrické energii díky automatizaci výroby. Při zavedení nové výroby dojde po investici do nového nástroje k bodu zvratu při vyrobení 369 252 ks součástí. Což znamená, že při sériovosti  $225\,000\text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$  dojde k navrácení investice do nové výroby, přibližně do dvou let od jejího zavedení, kdy už bude výroba zisková.

Změnou stávající výroby na novou technologii výroby na postupovém nástroji dojde k zefektivnění výroby, zrychlení výroby a k celkovým úsporám prostředků vynaložených na výrobu.

**SEZNAM LITERATURY**

- [1] STUDNIČKA, Jaroslav. *Postupové lisovací nástroje*. Praha: SNTL, 1967. 120 s. DT 621.979 : 621.96 : 621.979 : 621.983.3
- [2] TIŠNOVSKÝ, Miroslav; MÁDEL, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL, 1990. 200 s. DT 621.983.3
- [3] ODEHNAL, Josef. *Hluboké tažení*. Praha: SNTL, 1963. 104 s. DT 621.983.3.
- [4] BAREŠ, Karel a kol. *LISOVÁNÍ*. Praha, SNTL, 1971. 544 s. DT 621.979.
- [5] FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I* [online]. 2006 [cit. 2011-04-12]. Dostupný z WWW: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/rocnikovy\\_projekt\\_I\\_\\_forejt.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/rocnikovy_projekt_I__forejt.pdf)>.
- [6] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [7] NOVOTNÝ, Josef; LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha, SNTL, 1980. 216 s. DT 621.96
- [8] *BRANO Hradec nad Mor. : firma* [online]. [cit. 2011-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.brano.cz/>>.
- [9] ČADA, Radek. *Postup údržby 1* [online]. Ostrava, Ediční středisko VŠB TUO, 2007 [cit. 2011-04-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PU1/Postupy-udrzby-I.pdf>>. ISBN 978-80-248-1506-0.
- [10] *TECHNOLOGIE 2 Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní* [online]. [cit. 2011-04-14]. Dostupný z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm)>.
- [11] *TPL* [online]. 2009 [cit. 2011-05-01]. Tváření, lisování, simulace. Dostupné z WWW: <<http://www.tpl.cz/reference/>>.
- [12] LEINVEBR, Jan; ŘASA, Jaroslav; VÁVRA, Pavel. *STROJNICKÉ TABULKY*. uprav.a dopln. vyd. Praha : SNTL, 1999. 900 s. ISBN 80-7183-164-6
- [13] DVOŘÁK, Milan; MAREČKOVÁ, Michaela. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ : Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník* [online]. Brno, 2005 [cit. 2011-04-20]. Dostupné z WWW: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm)>.

- [14] DVORÁK, Milan; GAJDOŠ, František; NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [15] Kalkulace nákladů I, Vysoká škola finanční a správní [online] 2011 [cit. 2011-04-18]. Dostupný z WWW: <is.vsfs.cz>
- [16] Kalkulace nákladů, [online] 2011 [cit. 2011-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.lopikus.cz/skola/semestr3/X16PMA/4.cvi%E8en%ED.pdfis.vsfs.cz>>
- [17] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
- [18] *Stanovení nákladů na kalkulační jednici* [online]. 2006 [cit. 2011-10-02]. Slovníček účetních pojmů. Dostupné z WWW: <<http://www.testyzucetnictvi.cz/slovnicek-ucetnich-pojmu.php?pojem=kalkulace>>.
- [19] *VŠEOBECNÉ TOLERANCE* [online]. [cit. 2011-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.janca-konstrukce.cz/iso2768.htm>>.
- [20] RÖSNER Michal: *Výroba krytu řemenového převodu*. Brno, 2011. 63 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- [21] FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav; *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [22] FABÍK Pavel: *Návrh variant výroby ploché součásti z plechu s otvory*. Brno, 2009. 39 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc. Dostupný z WWW:<<ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>>.
- [23] *Katalog FIBRO* [online]. 2010 [cit. 2011-10-12]. Normálie FIBRO pro strojírenský průmysl. Dostupné z WWW: <<http://www.gore.cz/>>.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$\sum F_p$	celková přidržovací síla	[N]
$\sum F_s$	celková střižná síla	[N]
$\sum F_t$	celková tažná síla	[N]
$\sum S_c$	suma jednotlivých ploch	[mm <sup>2</sup> ]
A	tažnost	[%]
a	šířka pásu	[mm]
$A_s$	střižná práce	[J]
$B_z$	bod zvratu	[Kč]
c	koeficient závislý na stupni stříhu	[-]
C	součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení m	[-]
$C_{energ}$	náklady na energii	[Kč-kWh]
$C_{mat}$	cena 1 ks svitku	[Kč]
$c_o$	cena za 1kg opadu	[Kč]
$c_{v1}$	cena 1 výtažku	[Kč]
D	velikost přístříhu (rondelu)	[mm]
$D_1$	rozměr vnějšího nástříhu	[mm]
$d_n$	průměr n-tého tažení	[mm]
$d_{ot}$	průměr otvoru	[mm]
$d_{pr}$	průměr protažení	[mm]
$D_v$	výsledná velikost přístříhu (rondelu)	[mm]
e	šířka prostříhu	[mm]
$e_1$	šířka můstku mezi nástřihy	[mm]
f	vzdálenost začátků vnějších nástřihů	[mm]
$f_1$	vzdálenost začátků vnitřních nástřihů	[mm]
$F_c$	celková potřebná síla	[N]
$F_p$	přidržovací síla	[N]
$F_s$	střižná síla	[N]
$F_{ss}$	stírací síla	[N]
$F_t$	tažná síla	[N]
g	délka prostříhu	[mm]
$h_{el}$	hloubka vniku střižníku u elastické fáze	[mm]
$h_{pl}$	hloubka vniku střižníku u plastické fáze	[mm]
$h_{pr}$	výška protažení	[mm]
$h_s$	hloubka vniku střižných hran	[mm]
$c_h$	hodinová mzda	[Kč]
k	velikost kroku	[mm]
ks	kusy	[-]
L	stříhaný obvod	[mm]
$L_{der}$	obvod stříhaných děr	[mm]
$L_{nas}$	délka nástříhu	[mm]
$L_{sou.}$	obvod stříhané součásti	[mm]
$L_{svitku}$	délka svitku	[mm]
m	součinitel tažení	[-]
$m_o$	hmotnost odpadu za rok	[kg]

$m_{\text{osvitku}}$	hmotnost odpadu z jednoho svitku	[kg]
$n$	počet tahů	[-]
$N_c$	celkové náklady	[Kč]
$N_{\text{energ}}$	celkové náklady na energii	[Kč]
$N_{\text{energ1}}$	náklady na energii stroje 1	[Kč]
$N_{\text{energ2}}$	náklady na energii stroje 2	[Kč]
$N_{\text{energ3}}$	náklady na energii stroje 3	[Kč]
$N_f$	fixní náklady	[Kč]
$N_{\text{mat}}$	celkové náklady na přímý materiál	[Kč]
$N_{\text{mzdy}}$	celkové náklady na mzdy	[Kč]
$N_{\text{mzdy1}}$	náklady na mzdy jednoho zaměstnance	[Kč]
$n_o$	koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek	[-]
$n_p$	počet pracovníků	[-]
$N_p$	celkové přímé náklady	[Kč]
$N_{p1}$	přímé náklady na 1 výtažek	[Kč]
$N_{\text{pm}}$	náklady na přímý materiál	[Kč]
$N_v$	variabilní náklady	[Kč]
$N_{v1}$	variabilní náklady na 1 výtažek	[Kč]
$o$	velikost můstku	[mm]
$p$	přídavek na odstřížení a posunutí výtažku	[mm]
$P_{\text{kusů}}$	počet kusů za směnu	[ks]
$p_p$	tlak přidržovače	[MPa]
$P_{\text{rondelů}}$	počet rondelů z jednoho svitku	[ks]
$P_s$	výkon stroje	[kW]
$P_{\text{směn}}$	počet směn	[-]
$P_{\text{svitků}}$	počet svitků	[ks]
$P_{\text{výtažků}}$	počet výtažků	[ks]
$P_{\text{výtažků}}$	počet výtažků za hodinu	[ks]
$r_k$	poloměr hrany tažníku	[mm]
$R_m$	pevnost v tahu	[N · mm <sup>-2</sup> ]
$r_p$	poloměr hrany tažnice	[mm]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[N · mm <sup>-2</sup> ]
$R_s$	správní režie	[Kč]
$R_v$	výrobní režie	[Kč]
$S_p$	plocha přístřihu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{pp}$	plocha přidržovače	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	plocha výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$t$	tloušťka plechu po operacích	[mm]
$t_h$	celkový čas	[hod]
$t_o$	tloušťka plechu před operacemi	[mm]
$t_s$	čistý čas práce za směnu	[hod]
$v$	střížná vůle	[mm]
$X$	součinitel určený z pevnosti materiálu	[-]
$Z$	zisk při výrobě	[Kč]
$z$	procento zisku	[%]
$Z_m$	tažná vůle	[mm]
$\tau_{ps}$	mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 – Tabulky
- Příloha č. 2 – Tažné plány
- Příloha č. 3 – Horní část nástroje
- Příloha č. 4 – Dolní část nástroje
- Příloha č. 5 – 1-DP-FABIK-00
- Příloha č. 6 – 4-DP-FABIK-00-1
- Příloha č. 7 – 4-DP-FABIK-00-2
- Příloha č. 8 – 4-DP-FABIK-00-3
- Příloha č. 9 – 4-DP-FABIK-00-4
- Příloha č. 10 – 4-DP-FABIK-01
- Příloha č. 11 – 4-DP-FABIK-29
- Příloha č. 12 – 3-DP-FABIK-30

## Příloha č.1 Tabulky

Součinitel tažení  $m$  válcových výtazků v pásu s nástřihem <sup>4</sup>

Označení koeficientu tažení	Poměrná tloušťka výchozího materiálu $\frac{t}{D} \cdot 100$ [%]					
	0,1 až 0,3	0,3 až 0,8	0,8 až 2,0	2,0 až 4,0	4,0 až 6,0	nad 6
m1	0,64 až 0,62	0,62 až 0,60	0,60 až 0,57	0,57 až 0,54	0,54 až 0,51	0,51 až 0,48
m2	0,85 až 0,84	0,84 až 0,83	0,83 až 0,82	0,82 až 0,81	0,81 až 0,80	0,80 až 0,79
m3	0,86 až 0,85	0,85 až 0,84	0,84 až 0,83	0,83 až 0,86	0,82 až 0,81	0,81 až 0,80
m4	0,87 až 0,86	0,86 až 0,85	0,85 až 0,85	0,84 až 0,83	0,83 až 0,82	0,82 až 0,81
m5,m6	0,88 až 0,87	0,87 až 0,86	0,86 až 0,85	0,85 až 0,84	0,84 až 0,83	0,83 až 0,82
atd.						
poslední tah	0,98 až 0,97	0,97 až 0,96	0,96 až 0,95	0,95 až 0,94	0,94 až 0,93	0,93 až 0,92

Součinitel  $C$  vyjadřující vliv součinitele tažení  $m$  s přihlédnutím k poměrné tloušťce  $t/D_v$  <sup>14</sup>

$m=d/D_v$ [-]	0,55	0,6	0,65	0,7	0,8
$C$ [-]	1	0,86	0,72	0,6	0,4

Poloměry tažnic  $r_p$  a tažníků  $r_k$  při postupovém tažení v páscech <sup>4</sup>

Operace	Poměrná tloušťka výchozího materiálu $\frac{t}{D} \cdot 100$ [%]											
	0,1 až 0,3		0,3 až 0,8		0,8 až 2,0		2,0 až 4,0		4,0 až 6,0		nad 6	
	$r_p$	$r_k$	$r_p$	$r_k$	$r_p$	$r_k$	$r_p$	$r_k$	$r_p$	$r_k$	$r_p$	$r_k$
první	$6s$	$7s$	$5s$	$6s$	$4s$	$5s$	$3s$	$4s$	$2s$	$3s$	$s$	$2s$
následující	(0,6 až 0,8) poloměru v předcházející operaci											
Kalibrování při výtazku s přírubou	Velikost poloměru podle výkresu											